



CARRERA DE INGENIERIA DE MINAS

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA
SOLUCIONAR PROBLEMAS TÉCNICOS DURANTE EL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAL EN HORNO
VERTICALES REGENERATIVOS”**

Autores:

José Víctor Salinas Almanza
Ingeniero de Minas

José Carlos Salinas Quispe
Bachiller ingeniería de Minas

Cajamarca – Perú
2019

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
Índice	ii
Resumen	viii
Abstrac	ix
Palabras Claves	x
CAPÍTULO PRIMERO : Introducción y objetivos	
Realidad Problemática	12
Objetivos	14
CAPÍTULO SEGUNDO : Marco Teórico	
Antecedentes	15
Bases Teóricas	17
Geología	17
Mineralogía	19
Rocas Calcáreas	19
Calcita	20
Dolomita	20
Composición mineralógica y química de la caliza	20
Características Petrográficas	21
Rocas carbonatadas químicas	22
Carbonatitas	22
Propiedades del carbonato de calcio	23
Color	23
Resistencia	23
Densidad	23
Unidades Geológicas favorables en el País	24

	Pág.
Grandes Proyectos mineros en el Perú	27
Unidades geológicas de caliza en el Perú	28
Óxido de calcio o Cal	29
Principales Aplicaciones de la Cal	29
Industria de la construcción	29
Sector Químico	30
Industria del Plástico	30
Extracción de magnesio del agua del mar	31
Insecticida y funguicida	31
Productos Químicos	31
Industria Minero metalúrgica	32
Industria del hierro y acero	32
fundición	33
Sector agro industrial y Medio ambiente	33
Tratamiento de agua	33
Normas de Producción y Manipulación de la Cal	33
Peligros y riesgos de la cal para la salud	35
Reacción Exotérmica	35
Propiedades de la Cal	35
Control PH	36
Control y tratamiento de residuos cianurados	38
CAPÍTULO TERCERO: IMPORTANCIA DE LA CAL EN LA RECUPERACION DE COBRE Y ORO	
Producción de Cobre	39
Recuperación de cobre por el método de concentración	42
Chancado de mineral cobre	43
Molienda de mineral cobre	43
Flotación de mineral cobre	46
Lixiviación de oro en pilas y el método de recuperación	48
CAPITULO CUARTO: PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO, MATERIA PRIMA PARA HORNOS VERTICALES REGENERATIVOS DE DOBLE CUBA	
Área de alimentación de caliza	53
Cantera, ubicación y acceso	53

	Pág.
Clima	53
Geología	54
Suelos	54
arqueología	54
Acceso a cantera	54
Parrilla o zaranda estática	57
Oportunidad de mejora en Parrilla o zaranda estática	57
Tolva de gruesos	58
Oportunidad de mejora en tolva de gruesos	58
Área de chancado	59
Apron feeder	60
Problemas de operación en apron feeder	61
Oportunidad de mejora en apron feeder	62
Chancadora de quijadas	64
Fajas transportadoras	66
Oportunidad de mejora en fajas transportadoras	
Cambio de faldones por bandejas	67
Fabricación de bandejas	
Primer paso	69
Segundo paso	69
Tercer Paso	70
Zaranda vibratoria de clasificación 5' x 10'	73
Recomendaciones para la zaranda vibratoria	73
Principales modos de falla de componentes de equipos de	
Carga de caliza	77
CAPITULO QUINTO: PRODUCCIÓN DE CAL U ÓXIDO DE CALCIO EN HORNOS VERTICALES REGENERATIVOS DE DOBLE CUBA	
Reacciones y cálculos estequiométricos	
Ejemplo de cálculo	82
Solución y respuesta	83
Velocidad de reacción de calcinación	84
Temperatura de reacción de calcinación	84
Presión del ambiente de reacción de calcinación	85

	Pág.
Características necesarias de la piedra caliza	86
Impurezas	87
Tamaño de la caliza, granulometría	87
Descripción del proceso de calcinación	89
Descripción funcional del horno	92
Planta hidráulica	95
Filtro de mangas	96
Oportunidades de mejora en hornos de calcinación	
Cambio de ubicación de banco de bombas dosificadoras de Combustible horno 02	98
Modificación de 90° en tubing de quemadores horno 01	99
Datos relevantes	101
Parámetros de control en hornos de calcinación	102
Condiciones y soluciones de categoría urgente según parámetros de control del horno	103
Conclusiones	105
Recomendaciones	106
Referencias	107
Anexo 01	109
Anexo 02	110

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01. Producción de rocas calcáreas en el Perú por regiones	26
Figura 02. Grandes proyectos mineros en el Perú	27
Figura 03. Unidades geológicas favorables de calizas en el Perú	28
Figura 04. Producción local de cobre 2005-2016	39
Figura 05. Bolas de acero en un molino	44
Figura 06. Molino semi autógeno SAC	45
Figura 07. Dosificación de cal en una planta de tratamiento de cobre	47
Figura 08. Construcción de un PAD	48
Figura 09. Filtros clarificadores	50
Figura 10. Torres de aireación	50
Figura 11. Diagrama de bloques de Áreas que intervienen en el Proceso de calcinación	52
Figura 12. Vista panorámica de la Planta de Cal	55
Figura 13. Diferencia entre rieles de tren y vigas trapezoidales	57
Figura 14. Parrilla estática en el área de chancado	58
Figura 15. Vista panorámica del área de chancado de caliza	59
Figura 16. Flow sheet del área de chancado	60
Figura 17. Partes de transportadora a orugas Apron feeder	61
Figura 18. Plancha destrozada en polea motriz Apron feeder	62
Figura 19. Rieles soporte a mitad de polea Motriz Apron feeder	63
Figura 20. Plancha bajo polea motriz de Apron feeder	63
Figura 21. Partes de una chancadora de mandíbulas jaw master	65
Figura 22. Partes de una faja transportadora	66
Figura 23. Fabricación de bandeja para faja transportadora paso 1	69
Figura 24. Fabricación de bandeja para faja transportadora paso 2	70
Figura 25. Fabricación de bandeja para faja transportadora paso 3	71
Figura 26. Faja transportadora sin guardas ni guarderas	71
Figura 27. Bandejas de protección	72
Figura 28. Posición de la banda al interior de las bandejas	72
Figura 29. Factor de capacidad de la caliza en la zaranda	74
Figura 30. Formula de área de zarandeo	75
Figura 31. Estratificación de una zaranda vibratoria	76
Figura 32. Principales modos de falla en equipos de carga de caliza	77
Figura 33. Distribución de temperaturas en hornos verticales	85

Figura 34. Simulación de presiones al interior del horno	86
Figura 35. Tamaño de caliza 2" a 4" materia prima horno 01	88
Figura 36. Tamaño de caliza 1" a 2" materia prima horno 02	88
Figura 37. Tamaño de caliza 0" a 1" materia prima (ripio)	89
Figura 38. Cubas 1 y 2 distribución de aire en flujo reversible	90
Figura 39. Sistema de combustión en horno regenerativos	91
Figura 40. Horno artesanal, rotatorio y de doble cuba	92
Figura 41. Compuertas accionadas por pitones hidráulicos	96
Figura 42. Filtro de mangas horno 01	97
Figura 43. Distribución anterior de bombas dosificadoras	98
Figura 44. Distribución final de bombas dosificadoras combustible	99
Figura 45. Combustión en cubas de cal quemadores 90° rectos	100
Figura 46. Cajón de curvatura de quemadores a 90° curvos	100
Figura 47. Distribución de combustible en lanzas en hornos	101
Figura 48. Condiciones y soluciones de categoría urgente según parámetros de control del horno	103

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01. Tipo de caliza y contenido de Óxido de Calcio	20
Tabla 02. Composición química de la caliza	21
Tabla 03. Especificación técnica contenido cal y caliza (cemento)	30
Tabla 04. Normas ASTM para producción y manipulación de cal	34
Tabla 05. Reacción ácidos al agregar alcalinos	36
Tabla 06. Cuadro productivo de la cal en agua a 25°C	37
Tabla 07. Cuadro resumen del informe analizado	41
Tabla 08. Relación cobre consumo de Cal	41
Tabla 09. Consumo de cal en recuperación de cobre por regiones	42
Tabla 10. Cuadro de producción de caliza en cantera	56
Tabla 11. Cuadro de distribución de caliza en chancado	64

RESUMEN

La minería realizada en el Perú durante los últimos 20 años está relacionada con el movimiento de grandes cantidades de material mineralizado para que la recuperación de metales valiosos sea rentable, más aún, cuando la ley de concentración de la mena en la roca es baja. Para la obtención de estos minerales se aplican nuevos procesos de recuperación hidrometalúrgicas como lixiviación en pilas, flotación etc., dependiendo del tipo de mineral hallado sea en óxidos o sulfuros.

Un insumo químico imprescindible para la aplicación de estos procesos es la cal (óxido de calcio). Debido a que deben realizarse en un ambiente alcalino (pH 10.5) y la adición de cal (un kilo por tonelada de mineral tratado) nos da una idea de la necesidad de adquirir este producto en cantidades mayores a las que actualmente nuestro país produce.

La implementación de hornos verticales regenerativos en la obtención de óxido de calcio en el Perú, permite alcanzar altos niveles de producción, calidad y lo más importante cumplir con normas estandarizadas con los parámetros medioambientales.

Para conocer mejor el funcionamiento de estos hornos es necesaria la Implementación de una guía práctica para solucionar problemas técnicos durante el proceso de producción de cal en hornos verticales regenerativos, como los que posee mina Buenaventura desde el año 1,999. (Minera Yanacocha 2,002). Siendo imitadas por las grandes empresas mineras para construir hornos de cal similares en sus instalaciones, permitiendo que el personal que realiza el trabajo en estos nuevos hornos adquiera conocimientos para poder controlar y manejar parámetros de producción como cantidad de combustible por ciclo, tamaño específico de la piedra caliza, cantidad de aire de combustión y exceso de aire dentro del horno y manejo de los filtros de mangas para evitar las emisiones de polvo de cal al ambiente.

ABSTRACT

Mining in Peru over the last 20 years is related to the movement of large quantities of ore so that the recovery of valuable metals is profitable, especially when the concentration of ore in the rock is low. To obtain these minerals new hydrometallurgical recovery processes are applied, such as heap leaching, flotation, etc., depending on the type of mineral found in oxides or sulphides. An essential chemical input for the application of these processes is lime (calcium oxide). Because it must be made in an alkaline environment (pH 10.5) and the addition of lime (one kilo per ton of treated ore) gives us an idea of the need to acquire this product in quantities greater than those currently produced by our country.

The implementation of regenerative vertical kilns in the production of calcium oxide in Peru, allows high levels of production, quality and most important to comply with standards standardized with environmental parameters.

To better understand the operation of these furnaces, it is necessary to implement a practical guide to solve technical problems during the lime production process in regenerative vertical kilns, such as those owned by Minas Buenaventura since year 1,999 (Minera Yanacocha 2,002). Which is being imitated by large mining companies to build similar lime kilns in their facilities, allowing the personnel who work in these new furnaces to acquire knowledge to control and manage production parameters such as fuel quantity per cycle, size Specific limestone, amount of combustion air and excess air inside the furnace, handling of the filters of sleeves to avoid the emission of lime dust to the environment.

PALABRAS CLAVE

Cal

La cal es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura (903 °C) de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua se le llama cal apagada (hidróxido de calcio). Cien kilos de caliza pura producen 56 kilos de cal. (CIM REVERSY Cimprogetti, 1998.).

Carbonatos

Los carbonatos son compuestos químicos, sustancias formadas por dos o más elementos, en una proporción fija por peso. Contiene los elementos carbono (C) y oxígeno (O) en forma del grupo CO_3 , conteniendo un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno. Según la clasificación elaborada por Strauss, los carbonatos se dividen en anhidros, hidratados, y con o sin aniones extraños. Las especies minerales forman dos grupos: en el primero están principalmente la calcita y dolomita, y en el segundo el aragonito. Dentro de estos minerales la calcita y la dolomita son los más importantes por su abundancia y usos, ya que forman parte de muchas rocas y minerales. Las principales rocas carbonatadas utilizadas por la industria son las calizas y dolomías. Las calizas son rocas sedimentarias compuestas principalmente por calcita (CaCO_3), y las dolomías son rocas compuestas principalmente por dolomita ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)$). (A. Díaz y J. Ramírez, 2009).

Cianuración

La cianuración es el proceso hidrometalúrgico basado en el empleo de soluciones de cianuros alcalinos como medio químico para lixiviar minerales auríferos y argentíferos. La cianuración cuenta con una trayectoria de aplicación y desarrollo de alrededor de un siglo, demostrando ser un proceso metalúrgicamente eficiente y económicamente atractivo. Su importancia y gravitación en la metalurgia extractiva es destacable, dado que mediante este proceso se ha extraído la mayor parte del oro producido hasta el presente por el hombre. (S. Vicuña, 2002).

Flotación

La flotación es un proceso físico – químico que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y otros elementos como el molibdeno, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original. La pulpa proveniente de la molienda, que tiene ya incorporados los reactivos necesarios para la flotación, se introduce en unos receptáculos como piscinas, llamados celdas de flotación. Desde el fondo de las celdas, se hace burbujear aire y se mantiene la mezcla en constante agitación para que el proceso sea intensivo. (Astucuri, 1999).

CAPÍTULO PRIMERO: Introducción y objetivos.

Realidad problemática

La implementación de procesos hidrometalúrgicos para recuperar minerales valiosos tanto en flotación o lixiviación son realizados en un ambiente alcalino por lo que es necesario contar con una mayor producción de cal, convertido en el reactivo más recurrente y económico utilizado en estos procesos. La producción de cal a nivel mundial se centra especialmente en países de alta producción minera, los cuales no siempre pueden abastecer su demanda interna recurriendo a la importación de este producto.

Estudios preliminares han demostrado que la producción de cal debe ser en forma local o regional para permitir su disponibilidad inmediata y abaratar costos, debido a ello las grandes empresas mineras tienen dos opciones para la toma de decisiones la primera producir cal dentro de sus propias instalaciones o comprar este insumo de productores locales debidamente asesorados para estandarizar esta producción siguiendo parámetros medioambientales y gubernamentales.

Para cubrir la demanda de este reactivo a nivel nacional se deben construir enormes hornos verticales de 100 a 400 toneladas día, los que deberán ser auditados en emisiones de gases, humos y partículas de polvo. Desterrando así las ancestrales costumbres de generar grandes cantidades de humos y gases al ambiente por cada temporada de quemado de caliza para obtener cal realizada en todo el país, debido al uso de hornos artesanales, verticales de una sola cuba y rotatorios sin control de emisiones.

Los obstáculos que se presentan en la fabricación de la cal, están basados en su producción, la que debe pasar por un proceso de calcinación a temperaturas que fácilmente llegan a 1,200°C, para obtener esta energía se emplea diferentes

insumos derivados del petróleo, como, por ejemplo, combustible residual 6, diésel 2, Así como también el uso de carbón en una mezcla antracítico – bituminoso. Y la proyección al uso de gas como combustible siendo necesaria la instalación de plantas de tratamiento del mismo.

En 1,998 a Planta de Cal China Linda, llega al Perú el primer horno vertical regenerativo de doble cuba permitiendo el ahorro de energía térmica, debido a que los gases calientes generados en la cuba que está calcinando ingresan mediante un canal a la segunda cuba consiguiendo el precalentamiento de la caliza que se encuentra en esta parte del horno, llegando finalmente al filtro de mangas que evitará la salida de partículas al ambiente.

Esta innovación en las plantas productoras de cal traen consigo un sin número de adelantos científicos y técnicos como, Automatización de líneas de producción, ahorro de energía calorífica, aires de combustión y enfriamiento de cal, bombas dosificadoras combustible, plantas hidráulicas para movimiento cíclico de compuertas las cuales responden a una lógica de control; Sin embargo, existen siempre problemas mecánicos en cada una de las maquinarias y equipos que intervienen en las diferentes áreas de producción generando bajos rendimientos relacionados con la calidad y cantidad programada, haciéndose necesaria la implementación de una guía técnica y práctica que permita conocer el funcionamiento, necesidades de mantenimiento, lista de partes para el cambio de sus componentes, así como también gestionar un sistema de mejora continua para lograr estos objetivos.

La presente nos informará en forma detallada la descripción y el funcionamiento de los equipos mecánicos que intervienen en cada área de producción permitiendo su mantenimiento en el momento adecuado igualmente el remplazo de sus componentes, modos de falla, opciones de maquinarias en stand by, mejorando la disponibilidad y entregabilidad de equipos.

Objetivos

- Implementar una Guía práctica para solucionar problemas técnicos durante el proceso de producción de cal en hornos verticales regenerativos.
- Describir el proceso productivo de cal en hornos verticales regenerativos.
- Describir los problemas técnicos que se presentan en la producción de cal.
- Proponer mejoras mediante la implementación de una guía práctica.
- Describir la importancia del uso de la Cal como reactivo en procesos de recuperación de minerales valiosos en el Perú.

CAPÍTULO SEGUNDO:2 MARCO TEÓRICO

Antecedentes

La Cal es un insumo fácil de producir y la materia prima (carbonato de calcio)

Existe en toda la corteza terrestre. Este producto es usado en casi todas las actividades productivas que desarrolla el hombre: la Industria, Agricultura, Minería, farmacéutica, Alimenticia, construcción civil, fundición etc. (Coloma, 2008).

Con el hallazgo y puesta en marcha de diferentes yacimientos mineros, la cal se hace imprescindible en los procesos de beneficio de mineral (Lixiviación, flotación, tratamiento de aguas ácidas). Los consumos de cal son significativos debido a que para el tratamiento y recuperación de oro se utiliza aproximadamente 1.8 - 4 kilos de cal por tonelada de mineral tratado, dependiendo si el mineral se presenta de óxidos a sulfuros pasando por la etapa transicional. Igualmente, para la recuperación de cobre, el ratio es de 0.8 – 1.6 kilos de cal por tonelada beneficiada.

Los grandes yacimientos mineros realizan un movimiento de material mineralizado a gran escala de 200,000 a 400,000 toneladas/ día, que significa una producción de Cal de 200 y 400 toneladas /día (Coloma, 2008).

No se puede dar un dato exacto de cuando se descubrió por primera vez la cal, sin embargo, es posible presumir que nuestros antepasados al reunirse alrededor del fuego calentaban las piedras calizas, que son muy abundantes en la naturaleza, produjeron la primera cal, la cual al descomponerse debido a las lluvias o a la humedad ambiente crea una pasta blanda y moldeable. (Lhoist, 1999)

Algunos indicios hallados en Turquía señalan que se utilizaba cal hace 14,000 años. Hay otras evidencias anteriores: las cuevas de Lascaux, en Francia, contienen frescos que confirman el uso de pigmentos naturales de óxido de hierro

aplicados a paredes de piedra húmeda con alto contenido en calcio (piedra caliza) y que se remontan casi a 16,000 años atrás.

El uso de cal moldeable aparece por primera vez en una calavera cubierta con un emplasto de cal pulida, que data del año 7.000 A.C. En la ciudad de Jericó, “La máscara de Jericó”. Por esa misma época en Anatolia (Turquía), se conservan restos de viviendas con frescos representando animales, Cataloyüç 6,000 años A. C. Pavimentos a base de cal existen en yacimientos arqueológicos neolíticos indicando el conocimiento de la cal desde la extracción, cocción, preparado y utilización en calzadas, muros de contención, paredes en construcciones habitacionales. (Lhoist, 1999).

En Grecia usaban la cal en muros, estucos y enlucidos, así como decoraciones en sus paredes, las materias primas caliza y arena volcánica eran traídas de la Isla de Santorini. En Creta los palacios a Cnosos y Tirinto contruidos a base de cal datan del 1,500 a.C. Los romanos heredaron la técnica griega de fabricación de morteros de cal. Se extendió el uso de tierras volcánicas, en este caso las conocidas puzolanas, (Puzzioli, Nápoles) para mejorar las propiedades de los morteros.

Datos cronológicos según Lhoist indican la importancia del uso de cal desde su descubrimiento hasta los tiempos modernos.

7,500 A.C. Jordania (Jericó) los moradores crean yeso en base a cal para recubrir paredes.

3,000 A.C. En Egipto construye la pirámide de Keops con piedra caliza.

2,000 A.C. Los pobladores celtas fertilizaban el suelo con cal.

500 A.C. Los chinos construyeron la Gran Muralla China de 2,500 Km. De

longitud.

1,300 D.C. Toda Europa utiliza la cal como masa de recubrimiento y pintura decorativa además de Servir como principal material en la construcción de sus hogares.

1,800 D.C Black y Lavoisier descubrieron la reacción química de la cal.

1,900 D.C. Debray y Lechatelier descubren muchas aplicaciones y cualidades de la cal.

En la actualidad en pleno siglo XXI, la cal se ha convertido en el principal aditivo para la recuperación de mineral valioso y tratamiento de aguas residuales de este proceso. En 1,998 llega al Perú el primer horno vertical regenerativo de doble cuba permitiendo el ahorro de energía térmica, debido a que los gases calientes generados en la cuba que está calcinando ingresan mediante un canal a la segunda cuba permitiendo el precalentamiento de la caliza que se encuentra en esta parte del horno. Luego pasará a filtros de retención de humos al ambiente.

Bases Teóricas

Geología

La geología es la ciencia que estudia la tierra, en todos sus aspectos y alcances, su origen, constitución, evolución, los procesos que se realizan en ella tanto interna como externamente a través del tiempo geológico. Geo = Tierra, Logo = Tratado, discurso lógico. Para una mejor comprensión de todos los fenómenos que se realizan en la tierra, la geología hace uso de muchas otras ciencias dando origen a las divisiones de la geología, entre otras.

La geología física es la ciencia que estudia todas las manifestaciones, comportamientos y propiedades de la materia, de la energía y de todos los fenómenos que se realizan en la tierra. La ciencia que estudia todos estos

fenómenos se denomina geofísica. La química es la ciencia que estudia la composición y comportamiento de todas las sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en la tierra, en término de átomos, moléculas, elementos y compuestos. La ciencia que estudia todas estas sustancias relacionadas con la tierra se denomina Geoquímica. Las ciencias auxiliares de la Geoquímica son: Mineralogía y Petrología. La ciencia que estudia la vida en la tierra y su evolución, es decir a los fósiles y la edad de las rocas a base de los fósiles, se denomina Paleontología. La Astronomía es la ciencia que estudia el universo en toda su extensión, al sistema solar y a la tierra como planeta integrante de este sistema.

La Historia es la ciencia y arte que estudia y narra todos los acontecimientos asociados a la tierra. La ciencia que estudia los sucesos realizados en la tierra a través del tiempo geológico se denomina Geocronología o Geología Histórica. Otras ciencias relacionadas con la tierra y las ciencias afines son: la Geología Tectónica, Geología Estructural, Geotectónica, la Estratigrafía, la Sedimentología, Geología Minera, etc. Es importante también tener en cuenta, que la tierra es la madre de la vida y el hogar de la humanidad, siendo el hombre el principal poblador y modificador de la tierra y por lo tanto la Antropología y la Arqueología se consideran como ciencias auxiliares de la Geología. La estadística y la geoestadística son ciencias de mucha importancia en el estudio de la geología. También es importante considerar a la ciencia de la Energía Nuclear que estudia el comportamiento de los átomos, en especial de su núcleo. Esta ciencia estudia particularmente los minerales y elementos radioactivos, es decir que sufren transformaciones pasando de un elemento a otro en períodos de tiempo estrictamente fijos para cada elemento, sirviendo por lo tanto para determinar el tiempo transcurrido desde su formación (origen) hasta la época actual. La ciencia que estudia estas transformaciones se denomina Radiometría. (J. Dávila, 1997).

Mineralogía

La mineralogía, rama de la Geología, es la ciencia que estudia la naturaleza y formación de los minerales. La mineralogía se divide en: Mineralogía general que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales; Mineralogía descriptiva que estudia la clasificación y descripción de los minerales; la Mineralogía Especial que trata de una especie mineral en forma exclusiva. Como dato adicional informativo diremos que el conjunto de procesos endógenos y exógenos, así como de las sustancias necesarias que intervienen en la formación de cada mineral es estudiado por la Mineralogénesis. (J, Dávila, 1997).

Rocas Calcáreas

Rocas calcáreas o carbonatos son compuestos químicos, sustancias formadas por dos o más elementos, en una proporción fija por peso. Contiene los elementos carbono (C) y oxígeno (O) en forma del grupo CO_3 , conteniendo un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno. Según la clasificación elaborada por Struz, los carbonatos se dividen en anhidros, hidratados, y con o sin aniones extraños. Las especies minerales forman dos grupos: en el primero están principalmente la calcita y dolomita, y en el segundo el aragonito. Dentro de estos minerales la calcita y la dolomita son los más importantes por su abundancia y usos, ya que forman parte de muchas rocas y minerales. Otros carbonatos como el aragonito (CaCO_3), la siderita (FeCO_3), la ankerita ($\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$) y la magnesita (MgCO_3), son comúnmente asociados con calizas y dolomías, (A. Díaz y J. Ramírez, 2009).

Calcita

Carbonato cálcico CaCO_3 , con cristalografía hexagonal tiene tres hábitos muy variados: el romboédrico, prismático y escalenoédrico. La calcita se presenta también en masas granuladas finas a compacto de aspecto terroso. Brillo vítreo de

colores blancos mayormente, pero puede tener diversos tonos (grises, verdosos, rojizos). Es el mineral más abundante de las rocas calcáreas, también es un mineral secundario de las rocas ígneas. (A. Díaz y J. Ramírez, 2009)

Dolomita

Carbonato de calcio y magnesio $Mg\ Ca\ (CO_3)_2$, de cristalografía hexagonal a romboédrica; presenta brillo vítreo con tonalidades rosadas, pudiendo ser incoloro; asimismo, es transparente e incluso puede ser translúcido. Es el mineral que constituye las rocas dolomíticas, también se presenta como un mineral filoniano junto a minerales de plomo, zinc y otros metales. (A. Díaz y J. Ramírez, 2009).

Tabla 1

Tipos de caliza y contenido de Oxido de Calcio

Mineral	Formula	Componentes	Porcentaje
Calcita	CaCO3	CaO	56.20%
		CO2	43.80%
Dolomita	CaMgCO3)2	CaO	30%
		MgO	21.70%
		CO2	47.90%
El cuadro muestra como el carbonato de calcio (sólido) se transforma en óxido de calcio luego de ser calcinado (sólido) desprendiéndose el dióxido de carbono (gas). Igualmente ocurre con la dolomita que contiene un porcentaje de magnesio.			

Fuente Betejtin, A. Curso de Mineralogía, 1997.

Composición Mineralógica y química de la caliza

La calcita es una caliza, químicamente pura, consiste en un 100 % en calcita y/o aragonito, y ambos minerales tienen la misma fórmula química $CaCO_3$ (56,2 % Ca O, 43,8 % CO₂). Las calizas usadas por la industria tienen un contenido de $CaCO_3$ de 70-80 %, y muchas de más del 90%. Cantidades grandes de caliza se aplican como roca natural (áridos, sillares) y para la fabricación de cemento y cal viva.

Tabla 2

Composición química de la caliza

Componentes	Porcentaje
CaCO ₃	97.80%
MgCO ₃	1.25%
FeO ₃	0.10%
SiO ₂	0.56%
Al ₂ O ₃	0.23%
Ni	<.002%
Cr ₂ O ₃	<.001%
SrO	0.03%
MnO	<.010%
La alúmina, cuando llega a ser mayor del 1% calcina a 500° C, causando la formación de bloques antes de la zona de calcinación en la de precalentamiento en hornos verticales.	

Fuente Betejtin, A. Curso de Mineralogía, 1997.

Características Petrográficas

La caliza es una roca que tiene origen químico y orgánico. Los carbonatos de origen químico se formaron por precipitación de disoluciones bicarbonatadas o carbonatadas con dióxido de carbono y agua. A este grupo pertenecen las pisolitas, calizas litográficas, calizas fibrosas y tobas calcáreas. La pisolita es una roca de aspecto granulado por haberse formado en manantiales calientes que contienen bicarbonato cálcico. Las calizas litográficas son de grano uniforme, muy fino, color amarillento; se forman en los golfos marinos. Las calizas fibrosas presentan estructura fibrosa, formando conos alargados en diente de sierra, cuyos ejes son normales a los planos de estratificación. Los carbonatos de origen orgánico están formados por caparazones de animales acuáticos y las oolitas por

pequeños granos esféricos que tienen por núcleo restos de conchas o granitos de arena. (W. Lorenz y W. Gwosdz 2004).

Rocas carbonatadas químicas

Se forman por precipitación del carbonato insoluble, al desprenderse el CO_2 . Son los travertinos y las tobas calizas. Asimismo, la coquina que son fragmentos calcáreos poco consolidados formado por caparazones de moluscos que están unidas por arena y carbonatos. Los caliches son costras calcáreas formadas sobre el suelo, en las regiones secas, cuando el agua asciende por capilaridad y precipita el carbonato en la superficie. Rocas carbonatadas bioquímicas Se forman por precipitación del carbonato de calcio debido a la actividad de algas y bacterias. En conjunto son de relativa importancia los esqueletos u otras partes duras de diversos grupos de animales: moluscos, corales, esponjas, equinodermos, etc.

La creta es una variedad de caliza no consolidada, formada fundamentalmente por microorganismos. (A. Díaz y J. Ramírez, 2009)

Carbonatitas

Las carbonatitas son rocas ígneas volcánicas del tipo ultra básico que se producen por procesos químicos de concentración de carbonatos a temperaturas de 700 a 500 grados centígrados a altas presiones. Las rocas carbonatíticas, se relacionan con las kimberlitas, y se conocen algunos centenares de ellas en diversos lugares del mundo. Algunas son cilíndricas, aunque de sección muy irregular, a manera de chimeneas, con zoneamiento concéntrico muy bien desarrollado; otras son irregulares y no presentan ningún tipo de zoneamiento. Todas las carbonatitas están compuestas de carbonatos, entre los que predomina la calcita, la dolomita y la siderita, sin embargo, son de origen ígneo.

En algunas ocasiones las concentraciones de cobre encontradas en las carbonatitas son gigantescas, considerándose casi como pórfidos cupríferos; algunas carbonatitas se asocian a sienitas y rocas alcalinas. Las más jóvenes se relacionan a rifts en el interior de zonas cratónicas, lo que sugiere procesos corticales profundos o del manto superior. (A. Díaz y J. Ramírez, 2009).

Propiedades del Carbonato de Calcio

Según A. días y J. Ramírez (2009). las principales propiedades de las calizas son:

Color

La coloración de las calizas ricas en calcio y de las calizas dolomíticas es blanca cuando son puras, pero cambia de color entre el gris y el negro a consecuencia de las impurezas carbonosas que contienen. Así, el óxido férrico le da un color amarillento, rojo, pardo; los sulfuros tales como la pirita, la marcasita y la siderita alteran el color superficial de la roca al oxidarse bajo la influencia de los agentes atmosféricos, dando un color rojizo.

Resistencia

La resistencia de la caliza es una propiedad importante a la compresión, al aplastamiento que oscila entre 98,4 y 583,5 kg/cm². La resistencia a la tracción no es tan importante y es más difícil de determinar, su variación es de 26 a 63 kg/cm².

Densidad

La densidad bruta de la caliza es el peso de un decímetro cúbico, que varía según el contenido de humedad, la textura y la porosidad de la roca. La caliza comercial secada al aire en condiciones ordinarias tiene una densidad de 1,922 kg/dm³. En condiciones de humedad, la densidad bruta puede ser de 2,242 kg/dm³. La densidad real prescindiendo de los poros llenos de aire oscila entre 2,2 y 2,9

kg/dm³. La caliza rica en calcio tiene una densidad de 2,65 a 2,75 kg/dm³, y las calizas dolomíticas de 2,8 a 2,9 kg/ dm³.

Absorción de agua: 2 a 8% en peso.

Unidades Geológicas Favorables en el país

Según A. Díaz y Ramírez (2009) El territorio peruano cuenta con varios grupos y formaciones geológicas constituidas por calizas. Estas rocas se explotan por medio de canteras, la mayoría de ellas trabajadas artesanalmente, también existen canteras mecanizadas que pertenecen generalmente a las empresas cementeras. Las calizas son las más abundantes entre todos los carbonatos en el Perú y en el mundo. En el país se consumen principalmente en zonas de la costa, que es la más industrializada y donde sus yacimientos son los más accesibles. Sin embargo, los depósitos de calizas de la costa tienen frecuentemente menor potencial y menor calidad que en otras franjas, y su importancia se debe a la falta de mejores yacimientos cercanos.

En el norte del Perú, las calizas se encuentran en las formaciones Yumagual, Mujarrón, Cajamarca y Celendín. La Formación Cajamarca es la que presenta mayor espesor (600-700 m) y homogeneidad. Son típicas de esta formación las calizas micríticas de color gris oscuro, ricas en fósiles y cuyos estratos van desde 0,5 a 2,0 m. En el departamento de Piura existen yacimientos de edad cuaternaria que se localizan en las formaciones denominadas tablazos. Litológicamente se componen de capas mayormente calcáreas, calizas macizas, bancos de coquina, areniscas calcáreas, conglomerados y margas. En Pucallpa afloran calizas de la Formación Copacabana, son calizas de color gris y azul oscuro con algunos estratos de lutitas, en tanto que las calizas de la Formación Chonta son de color crema a gris claro, se hallan interestratificadas con lutitas y margas. En el departamento de Ancash se encuentran las calizas Santa, del Cretáceo inferior, que forman parte del Grupo Goyllarisquiza. La Formación Santa en esta zona es

bastante lutácea y contiene capas de calizas cerca de su techo en La Libertad, en la provincia de Trujillo, en el área de Simbal, afloran calizas de la Formación Chicama, de color gris oscuro, compacto y de grano fino, estratificadas en bancos. En el centro del Perú las calizas jurásicas Chambará, Condorsinga y cretácicas Chulec y Jumasha son las que poseen las mejores características.

En Lima se encuentra calizas en las formaciones Atocongo y Chilca, y se usan para la fabricación de cemento, las calizas de la formación Atocongo consisten en calizas de color gris en capas gruesas que alcanzan aproximadamente 200 metros de espesor.

En el sur del país, en el departamento de Ayacucho, se pueden ubicar horizontes de calizas tanto en la formación Ayacucho como en la formación Huanta. En Puno el cemento se elabora de las calizas Cretáceas de la formación Ayabaca que a pesar de presentarse en paquetes relativamente delgados son las más abundantes y mejores de la región. En Moquegua afloran calizas grises pertenecientes a la formación Ferrobamba del cretáceo superior.

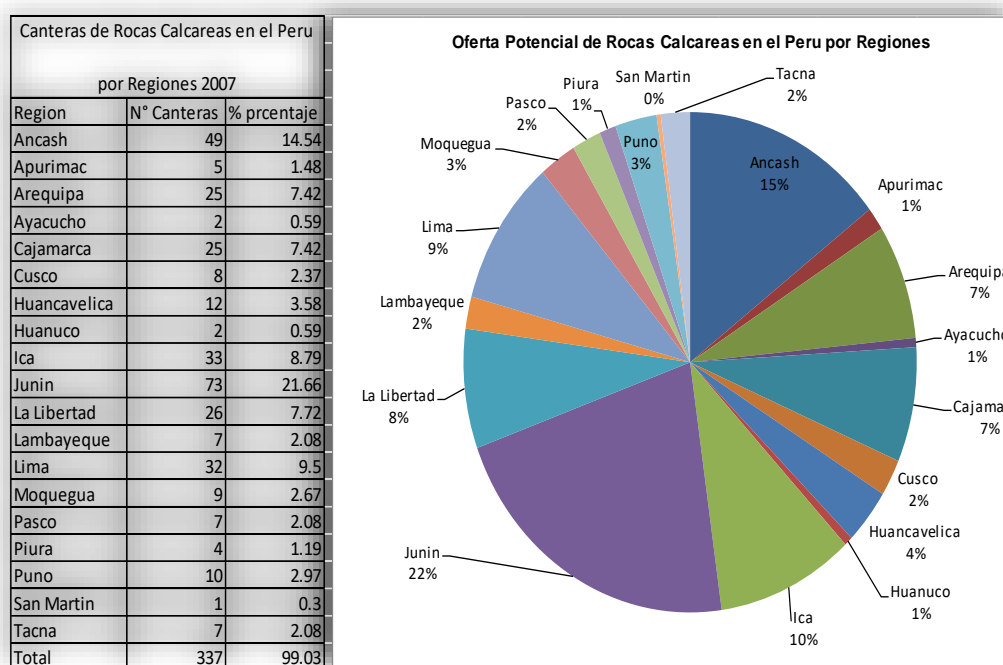
En el departamento de Arequipa afloran calizas pertenecientes al Grupo Gloria (Miembro Gramada) constituido por bancos de 1 a 3.5 metros de calizas arrecifales de color marrón a gris oscuro que se particulariza por su gran contenido fosilífero, intercalándose con las calizas, en menor proporción hay estratos de lutitas y limolitas de colores que varían de color amarillo hasta marrones violáceos. También afloran calizas de la Formación Socosani del Jurásico y de la Formación Arcunquina del Cretáceo Superior. En la cordillera Oriental las calizas del Grupo Pucará y especialmente de la Formación Condorsinga son las más promisorias.

A lo largo de la costa peruana se encuentran depósitos de coquina o conchuelas, formada de bancos de bivalvos cuaternarios. Las conchas son de carbonato de calcio y tiene un color blanco. Con el levantamiento de la costa, estos depósitos se encuentran actualmente tierra adentro, pero cerca de la orilla, los depósitos de

coquina son más abundantes entre Pisco y la frontera con Chile. En las costas de los departamentos de Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna.

Figura1.

Producción de las rocas calcáreas en el Perú por regiones.

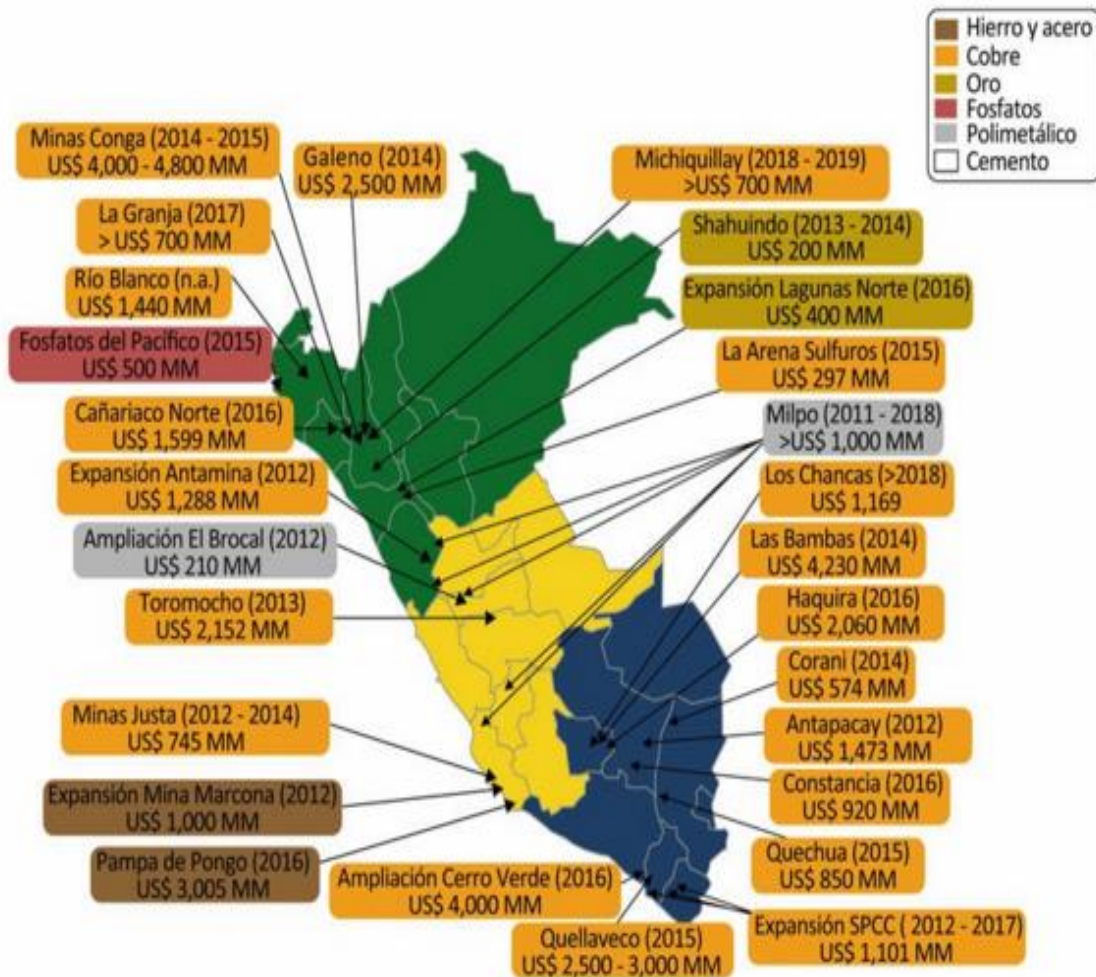


Fuente: Elaborado por A. Díaz a partir de la información de la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas (1999-2007), Estudio de los recursos minerales del Perú, y Otros - INGEMMET.

En el gráfico 1 se muestra la evolución de la producción de caliza por regiones en el Perú durante la última década, con tendencia al crecimiento promedio anual del 12%.

Figura 2

Grandes Proyectos Mineros en el Perú



La figura muestra los principales proyectos de yacimientos mineros que se realizarán en el Perú 2012-2022. Que permiten la demanda de Oxido de calcio.

Figura 3

Unidades Geológicas favorables de calizas en el Perú



La Figura muestra los yacimientos no metálicos de roca calcárea, distribuida a lo largo y ancho de nuestro país.

ÓXIDO DE CALCIO O CAL.

La cal es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura (903 °C) de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua se le llama cal apagada (hidróxido de calcio). Cien kilos de caliza pura producen 56 kilos de cal.

En el mercado se comercializan mayormente 3 tipos de cal:

- Cal viva Material obtenido de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico se transforma en óxido de calcio.
- Cal apagada o hidróxido de calcio, es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos al combinarse con el agua.
- Cal hidráulica Cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.

Principales Aplicaciones de la Cal

Según W.Lorenz y W.Gwosdz (2004) en la fabricación de cemento, como materia prima. El cemento se elabora mediante la calcinación de una mezcla de alrededor de 75% de caliza y 25% de otras sustancias.

Industria de la Construcción

La cal es muy usada en la industria de la construcción en la fabricación de ladrillos de silicato de calcio, bloques livianos de concreto, morteros, estuco y cal hidratada. El mortero es hecho a partir de una mezcla de cemento, cal y arena. Se usa también para estucar con cemento o como un aditivo de los estucos de yeso. Las calces hidratadas, son usadas para la decoración de paredes y estabilización de superficies. En la construcción de carreteras permite que grandes masas de lodo y terreno saturados, desperdiciados y sin ningún valor en el diseño de pavimentos, sean mejorados y utilizados como sub bases de gran firmeza e impermeabilidad. En los

pavimentos da resistencia al relleno y reduce el cambio de volumen en las arcillas del suelo tratado.

Tabla 3.

Especificaciones mínimas en contenido de CaCO_3 , CaO para el cemento Portland.

Pais	CaCO_3	CaO
Estados Unidos	75%	42%
Alemania	75%	42%
India	72%	40%
Sudafrica	76%	42%
China		48%
Cemento Natural		
Peru	42.00%	45.20%
se muestra en la siguiente tabla las especificaciones de carbonato de calcio con el contenido de oxido de calcio que se usa en diferentes paises para producir cemento portland.		

Según Lorenz y Gwosdz (2004).

Sector químico

La cal es utilizada en diversas industrias del sector químico, donde las propiedades químicas (oxido básico, agente neutralizante, contenido de calcio, fundente, etc.), son importantes. La mayoría de los procesos requieren cal o cal hidratada ya que ayudan a bajar el costo de producción, dado que los pigmentos para carga y cobertura de papel son generalmente menos costosos que las fibras.

Industria del plástico

Los plásticos, y en particular el PVC, representan un importante mercado para el

CCP. El uso de minerales de carga en plástico brinda beneficios positivos y mejora el rendimiento específico de los materiales plásticos al incrementar el endurecimiento y la resistencia al calor, o sea que el carbonato es incorporado a los plásticos como extensores inertes o como reforzadores de bajo costo. Esta industria requiere carbonatos $> 98.5\% \text{ CaCO}_3$ y $> 55,2\%$ de CaO .

Extracción de magnesio del agua de mar

La cal hidratada (o dolomía calcinada apagada) es usada para precipitar el magnesio disponible en el agua de mar como hidróxido de magnesio. Este es luego calcinado para obtener magnesia (MgO) que es utilizada en la fabricación de refractario.

Insecticida y funguicida

Por sus propiedades alcalinas, la cal ha sido un importante elemento en la elaboración de insecticidas, fungicidas y desinfectantes, para el control de insectos y plagas que atacan al hombre y a los cultivos.

productos químicos

En los petroquímicos, la cal es requerida en la producción de etilenglicol o propilenglicol por el proceso «chlorohidrine». El gas etileno obtenido fácilmente por las refinerías de petróleo es clorinado para formar etileno diclorado, en dicho cambio se reactiva con la cal para producir etilenglicol. o En los blanqueadores, las formas más comunes como el cloruro de cal con un contenido disponible de cloro de 25 a 30%, y por otra parte, el hipoclorito de calcio (70% disponible de cloro) de alta prueba. Ambos tipos de productos se hacen mediante la intervención de cloro gaseoso y cal hidratada de alto contenido de calcio, a través de varios procesos diferentes. En todos ellos, la cal juega el papel de un absorbente y un portador de cloro. El carburo de calcio se forma por una mezcla de cal viva y coque. Se aplica en la manufactura de cloruro de cal e hipoclorito de calcio (blanqueadores) En los

subproductos de coque elimina el amoníaco y libera gases para convertirlos en fertilizantes de nitrógeno.

Industria minero metalúrgica

Las cales son muy usadas en la flotación, o para la recuperación de muchos metales no ferrosos, en especial en la flotación de minerales de cobre, donde la cal actúa como sedimentador (activo asentador), manteniendo una apropiada alcalinidad. En la recuperación del mercurio proveniente de la mezcla de zinc natural cristalizado, la cal es usada para remover el sulfuro. Asimismo, en la flotación de zinc, níquel y metales antifriccionantes de mineral de plomo. Así también, es usada frecuentemente como un agente conservador para ayudar a la recuperación de xanatos, que es otra flotación química. La cal también se usa mucho en el proceso con cianuro para la recuperación de oro y plata, para aminorar la pérdida de cianuro, un costoso reactivo en la flotación, y para el control de pH. Además, se emplea para neutralizar el ácido sulfúrico en plantas embotelladoras, facilitando la recuperación de benzol y amoníaco.

Industria del hierro y el acero

La cal es usada como un fundente para asistir a la fundición en la extracción de hierro a partir del mineral de hierro. La cal reacciona con impurezas de sílice y alúmina en el mineral y forma una escoria que flota sobre la superficie de la fusión. La caliza de alta pureza (o dolomita) con bajo contenido de azufre y fósforo son generalmente las indicadas para estos procesos, pero la consistencia y el abastecimiento local son usualmente el principal criterio para aceptar los materiales. Actúa como lubricante cuando las varillas de acero son estiradas por medio de dados en la fundición de lingotes y escorias de altos hornos y neutraliza los últimos rastros del ácido adherido al metal y protege temporalmente de la corrosión.

Fundición

Como fundente en la fundición y refinación del hierro y otros metales, como aglomerante de mena de hierro, así como polvo inerte en minas de carbón y como fundente en la purificación del acero y en la oxigenación básica, y en hornos eléctricos.

Sector Agro industrial y Medio Ambiente

Neutralizador de tierras ácidas (agroquímicos) Proporciona calcio y magnesio a las plantas y reduce y neutraliza la acidez de la tierra, es decir al abonar la tierra con cal se produce una serie de procesos químicos, físicos y biológicos, tales como descomposición de organismos, transformación de sustancias venenosas y dañinas en inocuas; proporcionando el calcio y magnesio a las plantas, la reducción y neutralización de acidez de la tierra, todo ello con el beneficio de una mayor productividad del campo.

Purificación de agua y tratamiento de efluentes, la cal hidratada es usada en el tratamiento de agua potable para ajustar el pH y remover las impurezas. Asimismo, es empleada para acondicionar las aguas servidas y neutralizar efluentes industriales.

Tratamiento de agua

En el tratamiento de agua potable y aguas industriales para mejorar su calidad. En aguas desinfecta contra bacterias y algunos tipos de virus (elimina el virus del camarón y mata el cólera). Remueve la mayoría de metales pesados. Para mantener el apropiado pH para una eficiente oxidación biológica de las aguas de desecho.

Normas de Producción y Manipulación de la cal

La Norma norteamericana ASTM tiene como denominación de la cal según su uso debido a que existen diversas exigencias técnicas que se deben tener presente:

Tabla 4

Normas ASTM para producción y manipulación de cal.

NORMA ASTM	UTILIZACION
C5 - 79	Cal viva para propósitos estructurales
C45 - 25 (R- 79)	Cal viva y cal hidratada para el tratamiento de desechos de papel en la industria papelera.
C46 - 62 (R-79)	Cal viva y calizas para la fabricación de pulpas de sulfito
C49 - 57 (R-79)	Cal viva y cal hidratada para fabricación de ladrillos silícicos
C53 - 63 (R- 76)	Cal viva y cal hidratada para tratamiento de aguas
C141 - 67 (R - 78)	Cal hidráulica hidratada para propósitos estructurales
C206 - 79	Cal hidratada de terminación
C207 - 79	Cal hidratada para albañilería
C258 - 52 (R - 79)	Cal viva para la fabricación de carburo de calcio
C259 - 52 (R - 79)	Cal hidratada para fabricación de grasas
C400 - 64 (R - 81)	Cal viva y cal hidratada para neutralizar desperdicios ácidos
C415 - 72 (R - 76)	Cal viva y cal hidratada para productos de silicatos
C433 - 63 (R - 76)	Cal viva y cal hidratada para la fabricación de hipoclorito para blanquear
C602 - 69(R - 80)	Cal para encalado agrícola
C706 - 72 (R - 81)	Cal para usar como alimento animal
C737 - 73 (R - 78)	Calizas para despolvamiento de minas de carbón
C821 - 78	Cal para uso de puzolanas
C826 - 75	Productos de cal y caliza para tratamiento de desechos industriales
C911 - 79	Cal viva, cal hidratada y caliza para usos químicos

(Fuente ASTM American National Standard, 1997).

Peligros y riesgos de óxido de calcio para la salud

Según G. Coloma (1995). La cal puede afectar al organismo mediante vías de con la piel y ojos, inhalación, ingestión. Riesgos inmediatos: Irritación de los ojos, nariz, garganta y dermis, debido a su alcalinidad, también por factores térmicos pueden suceder quemaduras severas, bronquitis y neumonías. En lugares de alta concentración de cal debido a su manipulación y transporte debemos utilizar:

- Cremas protectoras
- Respirador full face (cubre toda la cara)
- Mameluco tivex con protección de cabeza y cierre hermético
- Guantes de jebe.

Como recomendaciones al momento de tener contacto con la cal:

- No usar lentes de contacto
- No comer
- Uso de duchas de agua, en caso de contacto directo.

Reacción exotérmica

La cal reacciona con el agua y se deshace generando una temperatura aproximada de 130 grados centígrados que puede ocasionar quemaduras en el cuerpo, los neumáticos y mangueras hidráulicas de los volquetes y bombonas de carguío de cal. (G. Coloma, 1995).

Propiedades de la cal

El siguiente cuadro muestra una comparación de álcalis comunes en reacciones químicas típicas nos indica la cantidad de valores teóricos en la cantidad necesaria

en cada álcali, para la neutralización de ácidos enlistados.

Tabla 5

Reacción de ácidos al agregar alcalinos

Álcali reacciona con	Cantidades estequiométricas de 100% álcali Puro requerido para reaccionar			
	100% reactante Puro	CaO	NaOH	Na ₂ CO ₃
	equivalente	Oxido calcio	de Soda caustica	Carbonato de sodio
	gramos	gramos	gramos	gramos
Ácido sulfúrico	100	57.2	81.6	108.1
Ácido clorhídrico	100	76.9	109.7	145.3
Ácido nítrico	100	44.5	63.5	84.1
Ácido fluorhídrico	100	140.1	200	264.3
Ácido fosfórico	100	85.5	122.5	162.2
Cianuro de sodio y cloro	100	228.8	326.5	
cloro	100	79.1	112.8	

(Fuente National Lime Association, 1995).

Control PH

El control de pH es un factor importantísimo en los procesos de minería extractiva, esta variable operacional es sumamente influyente. Es muy utilizado en los procesos de flotación, lixiviación, cianuración y concentración de minerales. Donde la respuesta metalúrgica depende mucho de un adecuado control del pH una desviación en sus valores puede inducir a una baja recuperación metalúrgica o producir un exceso en el consumo de reactivos usados en el proceso.

Los medidores de pH pueden ser automáticos o mecánicos y sirven como guía para su control, el incremento del pH puede darse con reactivos como Cal, carbonato de sodio y soda caustica. Debido a sus ventajas económicas y reactivas la cal es la más común en estos procesos. (Coloma, 1995).

Tabla 6

Cuadro productivo de la cal en el agua pura a 25° C.

pH de la solución calcítica a 25° C	
CaO gramos/litro	pH
0.000	7.00
0.005	10.35
0.064	11.27
0.065	11.28
0.122	11.54
0.164	11.66
0.271	11.89
0.462	12.10
0.680	12.29
0.710	12.31
0.975	12.44
1.027	12.47
1.160	12.53

(Fuente National Lime Association, 1995).

Control y tratamiento de residuos cianurados

Los residuos generados en las Plantas de cianuración (colas, soluciones de descartes, ripios, etc.) presentan una potencial acción contaminante de las aguas superficiales y subterráneas dado el alto grado tóxico del cianuro activo (HCN , CN^-) hacia especies animales y humanas. El control y manejo de dichos residuos, se agrava donde se exigen regulaciones estrictas del impacto ambiental de las emisiones de residuos cianurados.

Es así como en las plantas de cianuración, se toman muchas medidas de prevención de riesgo al manejo y uso del cianuro debido a los riesgos de formación de HCN al estado gaseoso e ingreso de cianuro al organismo humano por las vías cutáneas, digestivo, respiratorio. El mayor peligro es la formación de gas HCN o ácido cianhídrico por su alta toxicidad, facilidad de propagación en el aire y facilidad de ingreso por las vías respiratorias o inhalarlo.

Dado que el origen del HCN se debe a la hidrólisis del ion cianuro en un ambiente de pH menor a 9.4, el contacto del cianuro con soluciones neutras o ácidas promueve la generación del gas y los riesgos involucrados, de ahí la importancia operacional de mantener las soluciones en alta basicidad. (INACESA – UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE – SOPROCAL, 1995).

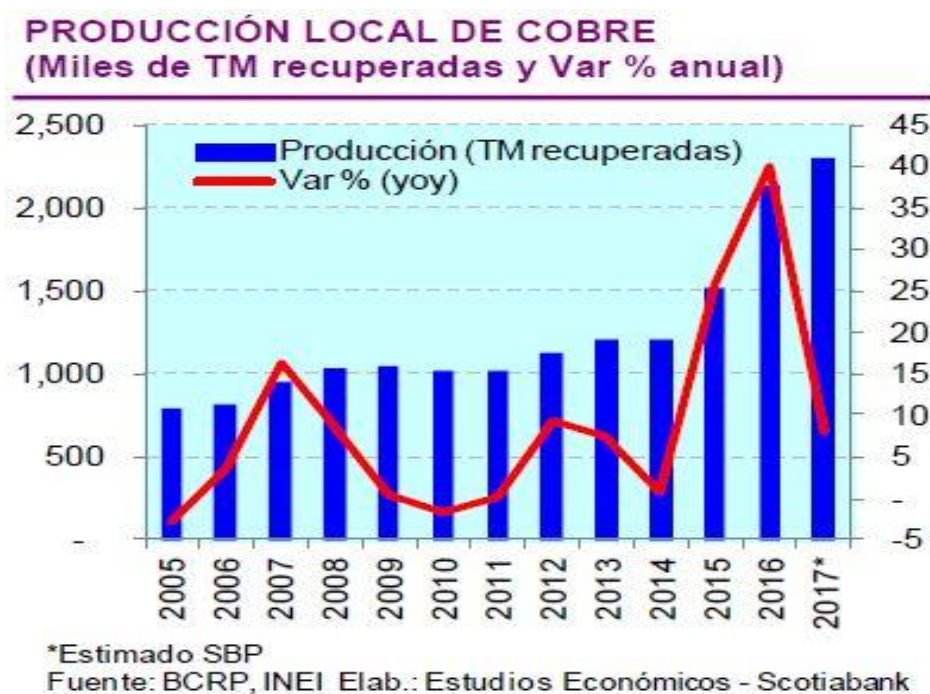
CAPÍTULO TERCERO

IMPORTANCIA DE LA CAL EN LA RECUPERACIÓN DE COBRE Y ORO.

PRODUCCIÓN DE COBRE

Figura 4.

Producción local de cobre 2005 - 2016



La producción de cobre del Perú alcanzaría 2.5 millones de toneladas métricas finas en el 2017 (+8%). Este incremento sería provocado, principalmente, por la mayor producción de Minera Las Bambas y Sociedad Minera Cerro Verde, al ser el primer año completo en el que sus proyectos -iniciados a fines del 2015- estarían operando a plena capacidad. Según el reporte al cuarto trimestre del 2016 de MMGLimited, Las

Bambas (Apurímac) estima producir entre 420 mil y 460 mil TM de cobre en el 2017, participando con el 18% de la producción nacional de cobre.

Igualmente, se disputaría el segundo lugar entre las principales empresas productoras de cobre del Perú con Compañía Minera Antamina, que en el 2017 mantendría su producción relativamente estable en 430 mil TM, aproximadamente.

La mayor producción de Las Bambas representa un incremento de entre 32% y 53% respecto a su producción del 2016, señaló la analista sénior del Departamento de Estudios Económicos del Scotiabank, Erika Manchego.

Las Bambas alcanzó el 100% de su capacidad de operaciones a mediados del 2016 y el 2017 sería su primer año produciendo a capacidad plena.

En el caso Cerro Verde (Arequipa), Compañía de Minas Buenaventura –accionista de Sociedad Minera Cerro Verde- prevé alcanzar una producción de entre 550 mil y 600 mil TM, consolidando a Cerro Verde como la primera productora de cobre del Perú con alrededor del 22% de la producción nacional de cobre. La mayor producción de Cerro Verde equivale a un incremento de entre 10% y 20% respecto a lo que produjo en el 2016, indicó en el Reporte Semanal del banco. Así como en el caso de Las Bambas, este aumento se debe a que la expansión de la unidad Cerro Verde empezó a operar en el último trimestre del 2015 pero la capacidad completa se alcanzó en el 2016, siendo el 2017 su primer año de operaciones a plena capacidad. Otras empresas que aumentarían su producción de cobre en el 2017 son Sociedad Minera El Brocal y Minera Chinalco. Según la Compañía de Minas Buenaventura –accionista mayoritario de El Brocal- la producción de cobre de El Brocal (Pasco) se incrementaría a un rango entre 55,000 y 65,000 TM (de 12% a 32% más respecto al 2016). Según la empresa, en el 2017 El Brocal operaría a tasas cercanas a su máxima capacidad nominal, luego de enfrentar algunos problemas operativos en años anteriores. Finalmente, la producción de Minera Chinalco en Toromocho (Junín) se incrementaría ligeramente en la medida en que la empresa va aumentando su eficiencia operativa. El resto de empresas mantendrían niveles de producción

relativamente estables, a excepción de Hudbay Perú que prevé una reducción de alrededor del 20% debido a menores leyes de mineral en su mina Constanza (Cusco).

Tabla 7

Cuadro Resumen del Informe Analizado

Empresa Minera	Proyecto	Región	T Finas 2017	%
Free port	Cerro Verde	Arequipa	600,000	22 %
MMGLimited	Bambas	Apurímac	430,000	18%
MGG Billington	Antamina	Ancash	430,000	18%
Chinalco	Toromocho	Junín	215,000	8%
Hudbay	Constancia	Cuzco	215,000	8%
Shouther Perú	Toquepala	Moquegua	200,000	7%
Shouther Perú	Cuajone	Tacna	85,000	5%
Buenaventura	Brocal	C° de Pasco	65,000	4%
otros			260,000	10%
		total	2,500,000	100%

Fuente propia.

Tabla 8

Relación cobre consumo de cal.

Empresas	Perú Relacion Produccion de cobre - cal					
	Region	Cobre TM/día	Ratio kg/TM	Cal TM/día	Cal TM/año	Cal TM/año
Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A	Arequipa	360,000	0.8	288	365	105120
Compañía Minera Antamina S.A	Ancash	270,000	0.8	216	365	78840
Compañía Minera las Bambas	Apurimac	270,000	0.8	216	365	78840
Souther Peru Copper Corporation	Moquegua y Tacna	150,000	0.8	120	365	43800
Minera Chinalco S.A	Junin	135,000	0.8	108	365	39420
Hudbay Peru S.A.C Constanza	Cuzco	65,000	0.8	52	365	18980
Compañía Minera Milpo S.A.A	Cerro de Pasco, Ica	41,030	0.8	33	365	11980.76
Sociedad Minera El Brocal S.A.A	Cerro de Pasco	65,000	0.8	52	365	18980
Gold Fields La Cima S.A	Cajamarca	29,886	0.8	24	365	8726.712
otros		114,084	0.8	91	365	33312.528
totales		1,500,000	0.8	1200	365	438000
total de toneladas de cal día				1200	año	438,000

Fuente MEM, 2016

Tabla 9

Consumo de cal en recuperación de cobre por regiones

Perú Relacion Produccion de cobre - cal			
Region	Cobre	Ratio kg/TM	Cal TM
Amazonas			0
Ancash	270,000	0.8	216
Apurimac	270,000	0.8	216
Arequipa	360,000	0.8	288
Ayacucho	388	0.8	0.3104
Cajamarca	30,710	0.8	24.568
Cerro de Pasco	46,896	0.8	37.5168
Cuzco	65,000	0.8	52
Huancavelica	21,933	0.8	17.5464
Huanuco	1,363	0.8	1.0904
Ica	42,088	0.8	33.6704
Junin	203,529	0.8	162.8232
La Libertad	1,320	0.8	1.056
Lambayeque		0.8	0.0008
Lima / Callao	30,686	0.8	24.5488
Loreto		0.8	0.0008
Madre de Dios		0.8	0.0008
Moquegua	183,117	0.8	146.4936
Piura		0.8	0.0008
Puno	2,933	0.8	2.3464
San Martin		0.8	0.0008
Tacna	65,000	0.8	52
Tumbes		0.8	0.0008
Ucayali		0.8	0.0008
Total	1,594,963		1275.976

Fuente MEM, 2016.

Recuperación de Cobre por el método de concentración

El objetivo del proceso de concentración es liberar y concentrar las partículas de cobre que se encuentran en forma de sulfúros en las rocas mineralizadas, de manera que pueda continuar a otras etapas del proceso productivo. Generalmente, este proceso se realiza en grandes instalaciones ubicadas en la superficie o Plantas

concentradoras y que se ubican lo más cerca posible del Pit. Este proceso se divide en las siguientes fases: Chancado, Molienda y Flotación.

Chancado de mineral cobre

El mineral proveniente de la mina presenta una granulometría variada, desde partículas de 1 mm hasta fragmentos mayores que 1 metro de diámetro, por lo que el objetivo es reducir el tamaño de los fragmentos mayores hasta obtener un tamaño uniforme máximo de ½ pulgada. Para lograrlo se utiliza la combinación de tres equipos en línea que van reduciendo el tamaño de los fragmentos en etapas, las que se conocen como etapa primaria, etapa secundaria y terciaria.

En la etapa primaria, la chancadora reduce el tamaño máximo de los fragmentos a 8 Pulgadas de diámetro. La secundaria, el tamaño del material se reduce a 3 pulgadas.

En la etapa terciaria, el material mineralizado logra llegar finalmente a ½ pulgada.

Las chancadoras son equipos eléctricos de grandes dimensiones. En estos equipos, los elementos que trituran la roca mediante movimientos vibratorios están contruidos de una aleación especial de acero de alta resistencia. También pueden ser el tipo quijada con una base fija y otra móvil logrando la trituración controlada. Todo el circuito del mineral en la planta se realiza mediante fajas transportadoras, desde la alimentación proveniente de la mina hasta la entrega del mineral chancado a la etapa siguiente.

Molienda de mineral cobre

Mediante la molienda, se continúa reduciendo el tamaño de las partículas que componen el mineral, para obtener una granulometría máxima de 180 micrones (0,18 mm), la que permite finalmente la liberación de la mayor parte de los minerales de cobre en forma de partículas individuales.

El proceso de la molienda se realiza utilizando grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica, en dos formas diferentes: molienda convencional o molienda SAG. En esta etapa, al material mineralizado se le agregan agua en cantidades suficientes para formar un fluido lechoso y los reactivos necesarios para realizar el proceso siguiente que es la flotación.

La molienda convencional se realiza en dos etapas, utilizando molino de barras y molino de bolas, respectivamente, aunque en las plantas modernas sólo se utiliza el segundo. En ambos molinos el mineral se mezcla con agua para lograr una molienda homogénea y eficiente. La pulpa obtenida en la molienda es llevada a la etapa siguiente que es la flotación.

Figura 5.

Bolas de acero en un molino



Molienda de barras, Este equipo tiene en su interior barras de acero de 3,5 pulgadas de diámetro x los pies que tenga el largo del molino para permitir buen flujo de molienda. El molino gira con el material proveniente de la chancadora terciaria,

alimentada por una faja transportadora con un sistema de pesaje para el control del tonelaje tratado. El material se va moliendo por la acción del movimiento de las barras que se encuentran libres y que caen sobre el mineral. El mineral molido continúa el proceso, pasando en línea al molino de bolas, pasando previamente por un ciclón o nido de ciclones que clasifican la granulometría del mineral tratado. Los gruesos serán remolidos y los finos a celdas de flotación.

Molinos de bolas, son de diferentes dimensiones y utilizan bolas de acero de variado tamaño tienen su interior ocupado en un 35% de su capacidad por bolas de acero. La carga circulante durante el tiempo establecido permite el paso del 80% del mineral reducido a un tamaño de 180 micrones, las revoluciones por minuto de estos molinos deben ser lentos regulados evitando la velocidad crítica debido al efecto de centrifugado que se produce pegando el mineral y las bolas de acero en las chaquetas sin lograr el objetivo de molienda.

Molienda SAG, (Semi Autógenos) son equipos de mayores dimensiones y más altos que anchos con proporción 3:1 y más eficientes que los anteriores. Gracias a su gran capacidad y eficiencia, acortan el proceso de chancado y molienda.

Figura 6.

Molino semi autógeno SAG



El mineral se recibe directamente desde la chancadora primaria (evitando el secundario y terciario) con un tamaño cercano a 8 pulgadas y se mezcla con agua y cal. Este material es reducido gracias a la acción material mineralizado presente en partículas de variados tamaños (de ahí su nombre de molienda semi autógena) y por la acción de numerosas bolas de acero, de 5 pulgadas de diámetro, que ocupan el 12% de su capacidad. La altura juega un papel importante por la caída libre cuando el molino gira, logrando un efecto conjunto de chancado y molienda más efectiva. Igualmente debe pasar por un clasificador para llevar material grueso a remolienda.

La flotación de mineral cobre

Es un proceso físico – químico que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y otros elementos como el molibdeno, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original. A la pulpa proveniente de la molienda se le adiciona reactivos necesarios para la flotación, se colocan en celdas de flotación unitarias o bancos de celdas los cuales mediante la suma de aire en la parte interna para mantener el burbujeo necesario para su flotación o mediante ingreso de aire por efecto de la agitación propiciada por el motor e impulsor para lograr un proceso intensivo. Reactivos espumantes, tienen como objetivo el producir burbujas resistentes. Reactivos colectores tienen la misión de impregnar las partículas de sulfuros de cobre y de molibdeno para que se separen del agua (efecto hidrofóbico) y se peguen en las burbujas. Reactivos depresantes que provocan el efecto inverso al de los reactivos colectores para evitar la recolección de otros minerales como la pirita, que es un sulfuro que no tiene cobre. La cal como aditivo sirve para estabilizar la acidez de la mezcla en un valor de pH determinado, proporcionando el ambiente adecuado para que ocurra todo el proceso de flotación. Las burbujas arrastran consigo los minerales sulfurados hacia la superficie, donde rebasan por el borde de la celda hacia canaletas que las conducen hacia los tanques espesadores para terminar en filtros de prensa o de discos cuya función principal es quitarle la humedad al

concentrado para su transporte a la terminal evitando polvo de mineral y ahorrar precios por sobrepeso de agua. (Patricio Cuadra, Codelco Central).

Figura 7.

Dosificación de cal en una Planta de tratamiento de cobre



Tabla 2- 5
Insumos del Proyecto

Insumos	Unidades	Cuantificación de Insumos	
		En Actual Operación	Total considerando Proyecto de Optimización
Toneladas Procesadas (Promedios Anuales)		126.000	170.000
Molienda			
Bolas 5"	g/Ton	399	441
Bolas 3"	g/Ton	572	631
Antioxidante	Kg/mes	307	437
Flotación			
Isopropil Xantato	g/Ton	80	80
X-133	g/Ton	10	10
Cal	Kg/Ton	0,8	0,8
Diesel - Procesos	g/Ton	25	25
Bolas 1"	g/Ton	20	22
Colector AP 3738	g/Ton	20	20
MIBC	g/Ton	27	25
Relaves			
Descaler	g/Ton	8	8
Espesadores			
Floculante	g/Ton	19	17
Planta Molibdeno			
Sulfidrato de Sodio	Kg/dmt ³	4	4
Acido Sulfúrico	Kg/dmt	3	3
Antiespumante P-4000	g/dmt	23	23
Diesel - Procesos	g/Ton	10	10

Minera Collahuasi (Chile). En su reporte muestra el consumo de cal por tonelada de mineral tratado 0.8 kilos de cal por tonelada de mineral sulfuro de cobre para flotacion. 170,000 tonelada x 0.8 kilos por tonelada = 136,000 kilos de cal o 136 toneladas de cal por día.

Lixiviación de oro en pilas y el método de recuperación

Para empezar con la construcción del PAD, se comienza con la Remoción de Materiales Orgánicos (Top Soil, etc.) hasta encontrar suelo duro. Luego se coloca un relleno de 30 cm de espesor con material compactado de corte o traído de cantera. Son necesarias las pruebas de compactación de campo, luego de haber colocado el relleno hasta alcanzar la pendiente requerida se coloca una capa de arcilla compactada (soil liner) de 30 cm de espesor. Se debe evitar la presencia de piedras grandes o angulosas. Después de la colocación de soil liner se procede a la instalación de la geomembrana que es un polietileno de alta o baja densidad, el control de calidad debe ser muy exigente en esta fase. La geomembrana debe ser protegida en la parte inferior (soil liner) como también en la parte superior (Protective liner) que es una capa compactada de material fino de 30 cms. de espesor. Para el transporte de la solución rica hacia las pozas es necesaria la instalación de tuberías colectoras. El material de drenaje es colocado sobre cada tubo para evitar roturas por el peso del mineral. La descarga del mineral se realiza directamente sobre el Pad tal como sale de mina, luego el mineral es arrimado por tractores para ir conformando los lifts.

Figura 8.

Construcción de un PAD



Cortesía del Ing. Sergio Vicuña Díaz Marzo, 2002

Junto con la descarga de mineral se adiciona lechada de cal con cisternas de 5,000 galones, la idea es mantener un pH entre 10 y 11 para asegurar una buena lixiviación del oro y la plata.

El ripeo se realiza para remover el mineral que ha sido compactado en el momento de la descarga del mineral y para que haya una buena percolación. Las celdas son áreas entre 5 y 20 mil metros cuadrados, la altura de los lifts son 10 ó 12 metros, para el regadío de las celdas se usan tuberías de polietileno de 4" las cuales se encargan de abastecer de solución a las mangueras de 1/2" para regadío por goteo, estas mangueras están separadas entre sí 80 cm y los goteros están cada 80 cm. Ratio de riego: 10 Lt/h-m² Concentración de cianuro: 50 - 60 ppm. Tiempo de Lixiviación: 45 - 60 días. Adición de cal: 0.55 Kg de cal/Ton. Mineral. PH del mineral: 9 - 11. Velocidad de percolación: 2 - 3 m/día. Altura de capa de mineral: 10 – 12 m.

Las pozas de colección cuentan con el mismo sistema de colocación de materiales de geomembrana que el Pad. La diferencia está en la cantidad de capas con que cuentan las Pozas que son tres y con un sistema de detección y recuperación de solución entre capas. Todos los canales deben ser plastificados aun cuando la solución sea transportada en tubos.

Todos los Pads tienen canales perimetrales por donde se derivan las aguas de lluvia para evitar excesos de agua en nuestros procesos.

Merrill crowe, La clarificación es un proceso de filtración de la solución rica realizada en un sistema de filtros clarificadores con una capacidad para filtrar 500 m³/h cada uno. Los sectores de los filtros clarificadores son de una malla metálica y se le reviste con una tela filtrante de material sintético.

Figura 9.

Filtros clarificadores



El oxígeno disuelto en la solución debe ser extraído para evitar la redisolución del oro y plata en la solución, por la constante presencia de cianuro. Para la extracción de oxígeno se utilizan torres y bombas de vacío que se encargan de succionar el oxígeno.

Figura 10.

Torres de aereación



La solución una vez que ha sido clarificada y desaerada no puede estar en contacto con el ambiente, para ello se dosifica polvo de zinc en un medio acuoso para minimizar el contacto del aire con la solución rica. El precipitado de oro y plata se colecta en los filtros prensa de precipitado. Los sectores de estos filtros también usan una precapa de diatomita para facilitar el desprendimiento del precipitado cuando el filtro se descarga. El precipitado es cargado en las retortas donde se extrae el mercurio y luego se funde para obtener las barras de doré.

Una vez que se deposita el oro y la plata en los filtros de precipitado la solución pobre que sale de estos filtros se llama barren, contiene de 0.02 a 0.03 ppm de oro. A esta solución se le agrega nuevamente cianuro para que sea bombeada de regreso a la pila de lixiviación. Solución barren. A Los excesos de agua se suministra cloro Nash FeCl y se envían al medio ambiente los lodos con floculante son enviados nuevamente al PAD.

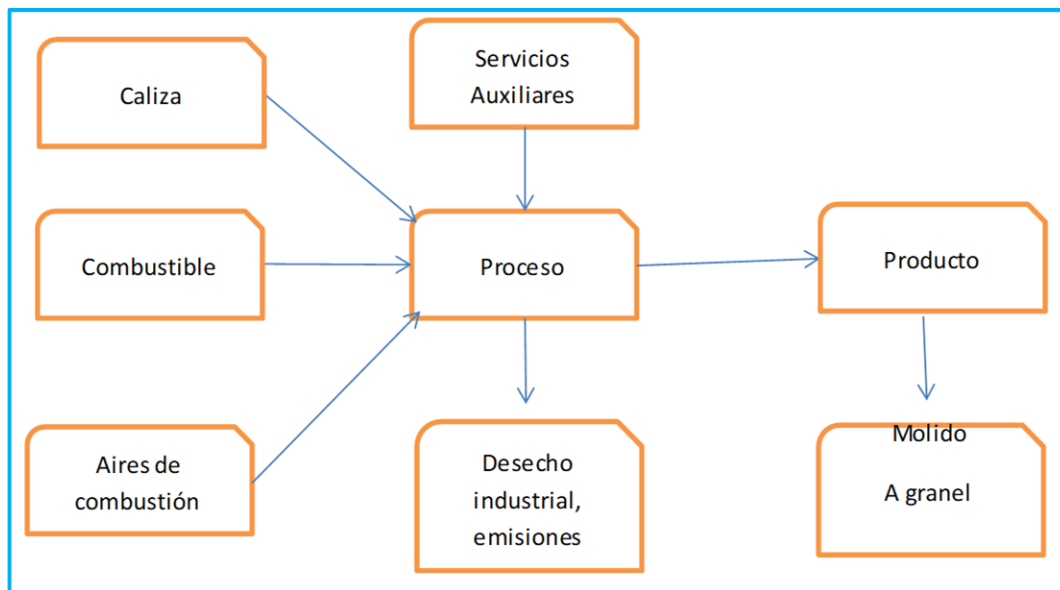
Como vemos es factible el uso de lixiviación en grandes cantidades de mineral de baja ley, la importancia de la adición de cal para regular el pH, permitir aglomeración de material con mucha arcilla o muy fino, así como el cambio de cal por soda caustica permite un alto ahorro de costos. (Ing. Sergio Vicuña Díaz marzo 27, 2002.)

CAPITULO CUARTO

PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO MATERIA PRIMA PARA HORNOS VERTICALES REGENERATIVOS DE DOBLE CUBA

Figura 11.

Diagrama de bloques de Áreas que intervienen en el Proceso de Calcinación



Fuente Propia

La presente investigación tiene los siguientes objetivos principales:

- Enlistar los equipos que intervienen directamente en la elaboración del producto
- Análisis técnico de cada equipo basado en confiabilidad y productividad
- Ideas de mejora aplicadas a cada equipo relacionadas con su eficiencia y eficacia
Así como tiempos de mantenimiento y cambio de componentes
- Plasmar el documento en una guía de recomendaciones, métodos y procedimientos para la intervención de los equipos, así como también,

implementar las medidas de seguridad y criterios para mitigar los impactos al medio ambiente.

Área de alimentación de Caliza

Tiene como objetivo proveer la materia prima (Carbonato de calcio) al horno, nace desde la cantera, clasificación en chancado y alimentación en la parte superior del horno, la cantidad de ingreso de caliza al horno es de acuerdo a la producción, en un horno de cal de 180 toneladas día según ratio de relación Caliza - Cal es 1.73; es decir se necesita 311,4 toneladas de caliza día. El Horno regenerativo de doble cuba quema de manera cíclica en ambas cubas con un promedio de 120 ciclos diarios, es decir 2.595 toneladas por ciclo.

Cantera, ubicación y acceso

El proyecto se ubica en el distrito de la Encañada de la provincia y departamento de Cajamarca dentro de las coordenadas UTM (PSAD 56- zona 17) 9'233.400 N, 778.000 E y 9'236.200 N, 783.000 E. a 26 kilómetros hacia el NNE de la ciudad de Cajamarca, entre 3,800 y 4,300 m.s.n.m, sobre la divisoria de la cuenca hidrológica del río Pachachaca (quebrada pampa chaca) con la cuenca del río Cushuro, el acceso se realiza desde la misma ciudad por la carretera asfaltada hasta Huandoy (36 Kms.) y luego hasta el área industrial China Linda (31 Kms.) haciendo un recorrido de 67 Kms.

Geomorfológicamente se encuentra ubicado en el sector norte de la cordillera occidental de los Andes del Norte, la topografía regional se caracteriza principalmente por una superficie ondulada de perfiles redondeados con colinas, lomas y valles.

Clima

Se caracteriza por tener un clima frío y húmedo, con periodos secos y lluviosos diferenciados, presentándose la estación de lluvias habitualmente desde octubre hasta abril y la estación seca desde mayo hasta septiembre de cada año. Basándose

sobre el registro de la estación meteorológica de Maqui Maqui, la temperatura promedio mensuales multianual varía entre 13.4°C y 2.0°C, la precipitación promedio anual es de 1,164.2 mm y la humedad relativa media mensual oscila entre 65% y 85%, la dirección del viento proviene principalmente desde las direcciones NNE y ENE y menos frecuente entre NON y NNE y entre S y ENE la velocidad media entre 6.85 a 14.16 km/h, habiéndose registrado velocidades máximas promedio que varían entre 23 hasta 41 km/h.

Geología

El yacimiento se encuentra estratigráficamente en las calizas que conforman los pisos superior e inferior del miembro inferior de la Formación Superior del grupo Puyllucana, del Cretáceo medio. El área donde se encuentra ubicada la planta de cal y las instalaciones auxiliares están conformadas por roca volcánica de Huambo.

Suelos

De acuerdo a la relación de los Grandes Grupos de suelos del Perú el área del proyecto se encontraría dentro de la asociación de Suelos Cambrisoles Eútricos y Cálcicos.

Arqueología

El área del Proyecto China Linda y su ampliación cuenta con el CIRA 2003-255 y menciona dos vestigios arqueológicos.

Acceso a cantera

Existe un acceso desde la planta de cal hasta la zona de la cantera que tiene una longitud de 4,260 metros y un ancho promedio de 8 metros.

La zona de operaciones de la cantera se ubica entre las coordenadas 780,535 E y 780500 E y 9'234,178 N y 9'234,891 N dentro de la concesión Claudina Ocho que comprende 1,000 hectáreas.

El material explotado es caliza del Grupo Puyllucana, compuesto principalmente por carbonato de calcio (95.5%), con algún contenido menor de carbonato de magnesio (1.6%), sílice (2.6%), alúmina (0,45%), óxido de fierro (0.38%) y otros elementos cuyo aporte porcentual es inferior al 0.1%. La reserva estimada es de 10'622,460 toneladas.

La cantera trabaja en bancos de 8 metros de alto con rampas de 10 metros cada dos bancos generando talud/banco, la inclinación de la pared de la cantera será mantenida en 2.5H: 1.0 v. (MEM- RD 110 - 2009.).

Figura 12.

Vista Panorámica de la Planta de cal China Linda.



Tabla 10

Cuadro de producción de caliza en cantera.

Hornos	Producción diaria	Producción anual	Relación caliza - cal	Total relación caliza - cal	% Recuperación en chancado	Recuperación total en chancado	% de recuperación en cantera	Total de caliza En cantera	Total de material explotado en cantera
01	180	65,700	1.73	113,661	0.61	182,994	0.45	265,341	589,646
02	50	18,250	1.73	31,572	0.13	41,043			
	230	83,950				224,037			

Fuente Propia

La cantidad total de material explotado es de 589,646 toneladas. Nótese la cantidad de desmonte y finos que debe ser removido es del 55% aproximadamente y la caliza solo 45%

La malla de taladros fue elaborada para que la explotación de material tenga una granulometría adecuada para ser procesada en chancado.

La medida actual que permite el paso de caliza en la parrilla de la tolva de gruesos está en 0.50 metros aproximadamente. Los bloques que sobrepasan esta medida deberán ser triturados con martillo neumático en cantera o en la cancha de gruesos previo al chancado. Se realiza una campaña de voladura anual que permite la total producción evitando así molestias producidas por muchos disparos, también el transporte de la caliza solo dura cuatro meses aproximadamente.

La caliza es depositada en una cancha de gruesos o almacenamiento para luego ser transportada hacia la parrilla por la que pasará la piedra caliza a una tolva de 120 toneladas llevadas por un cargador frontal.

Parrilla o zaranda estática

Consta de siete vigas longitudinales soportadas por dos transversales para evitar el pandeo, estas están ubicadas a 12" de distancia entre ellas para permitir el paso medido de la caliza y el material que tiene un tamaño mayor es retirado para ser triturado por un martillo neumático cuando exista una determinada cantidad.

Oportunidad de mejora en parrilla o zaranda estática

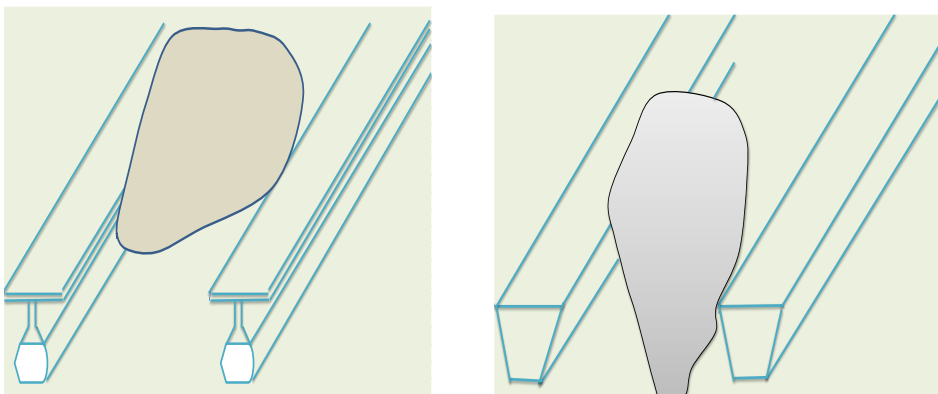
Las vigas utilizadas con anterioridad eran rieles de tren que comúnmente se utilizan en las plantas de tratamiento mineral a menor escala, estamos hablando de una producción diaria de 1,000 toneladas.

Las formas estructurales de las vigas de tren no eran adecuadas para el proceso por demoras en mantenimiento debido a la rotura de rieles primero y porque la parte de la base del riel obstruía el paso de la caliza hacia la tolva.

La solución al problema fue el cambio de vigas de riel por estructuras fabricadas en forma trapezoidal para soportar la rotura y permitir el paso de la piedra caliza dentro de la tolva.

Figura 13.

Diferencia entre rieles de tren y vigas trapezoidales en la parrilla.



Estas vigas fueron diseñadas y construidas con planchas de acero de 1" y las dimensiones 6" x 6" x 15 pies de largo. Las modificaciones permitieron un cambio de vigas cada dos años mientras que los rieles se realiza cada quince días, el tiempo de parada por reparación es menor y mayor el tiempo entre reparaciones. Los costos a largos plazos resultan beneficiosos en base al precio de vigas versus el de los rieles. Figura 14.

Parrillas en chancado.



Tolva de gruesos

En la parte inferior de la parrilla está ubicada la tolva de gruesos cuyas dimensiones son 4.50 metros x 5.00 metros x 5.00 metros de altura permitiendo una capacidad de 120 toneladas aproximadamente las mismas que según medidas y reportes duran una hora aproximadamente en ser consumidas por la chancadora.

Oportunidad de mejora en tolva de gruesos

La tolva de gruesos está construida con concreto armado, el desgaste de las paredes por una parte y la caliza pegada en sus paredes debido a la presencia de arcilla ocasiona bloques y acampanamientos en su interior obstruyendo el libre paso de la caliza hacia la chancadora transportada por un apron feeder bajo la tolva

Como solución se forró las paredes con planchas de acero de 3/8", estas permiten la caída de la caliza y disminuye los acampanamientos al interior de la tolva.

Área de chancado

Los hornos verticales necesitan tener una relación proporcional entre los tamaños de su caliza debido a que debe permitir el paso del dióxido de carbono desprendido del carbonato de calcio al momento en que se realiza la calcinación a una temperatura de 1,200 grados centígrados aproximadamente. Esta relación es comúnmente de 1" a 2", de 2" a 4", de 3" a 5".

Si se alimenta el horno con caliza de 1" a 5" como ejemplo, ocurrirá que las piedras menores se pegarán a los recodos dejados entre las piedras mayores cerrando completamente los espacios, no permitiendo la disociación del CO_2 y menos el paso de la flama en quemadores, sobre quemando la cal formando acampanamientos o bloques al interior del horno. Esto no ocurre en los hornos rotatorios circulares donde la caliza se mueve en su interior, pero las medidas deben ser menor a 2 pulgadas y mayor a 1/2" para permitir un buen quemado, también, necesitaran un chancado secundario para lograr esta granulometría.

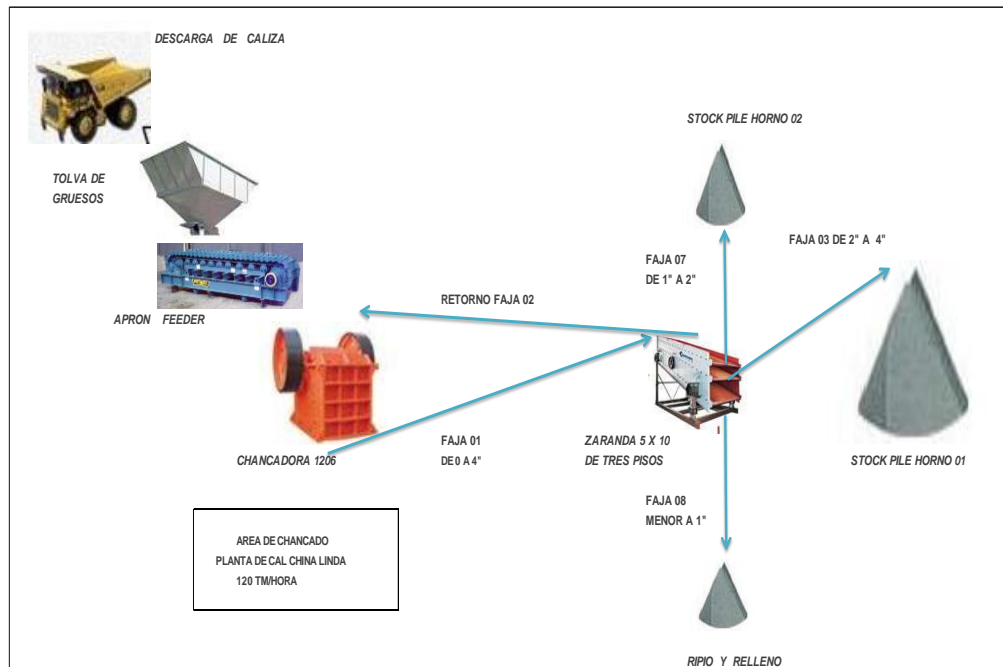
Figura 15.

Vista panorámica del Área de chancado de caliza, Planta China Linda



Figura 16.

Flow sheet del área de chancado.

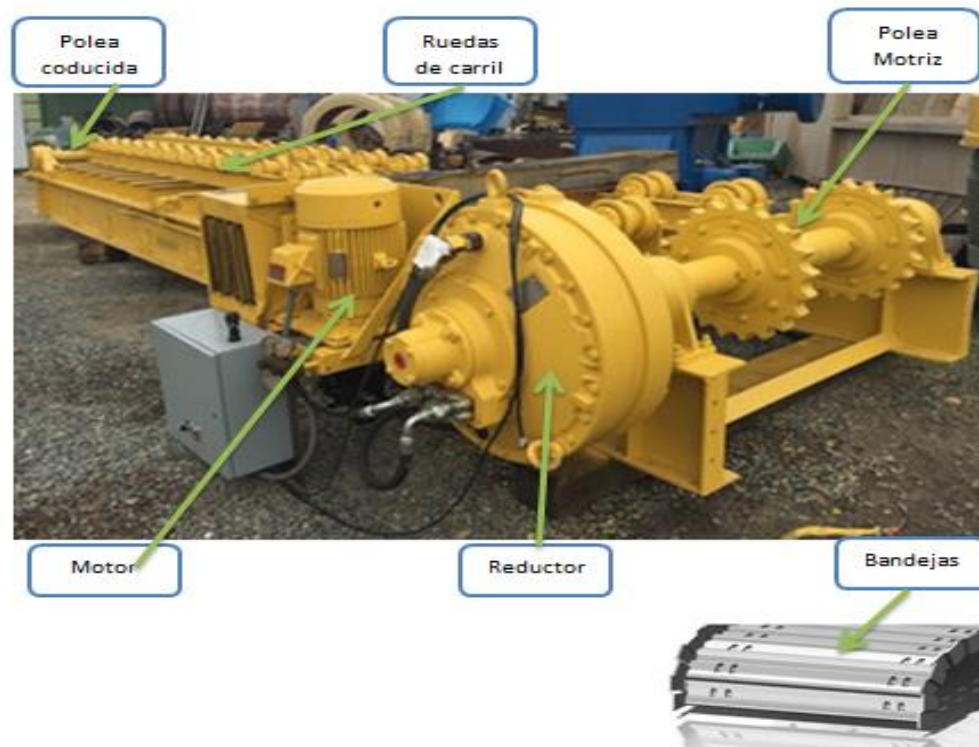


Apron Feeder

La función del apron feeder es transportar la piedra caliza de la tolva de gruesos hacia la chancadora, Consta de una polea motriz con dos reductores accionados por un motor de 5 HP y un variador de velocidad para regular el ingreso de caliza a la chancadora en forma uniforme evitando atoros por sobrecarga. Posee también dos cajas de reductores para multiplicar el torque del equipo. Como se puede ver en la ficha técnica del apron feeder las dimensiones son de 42 x 13' pies de largo (aproximadamente 5 metros).

Figura 17.

Partes de un transportador de orugas Apron Feeder.



Problemas de operación en el Apron Feeder

Los finos de la caliza se desplazan entre las bandejas y caen en la parte de la polea conducida ocasionando almacenamiento de arcillas, para evitar este problema se propuso colocar una pequeña faja transportadora bajo el apron feeder y evitar la limpieza obligada y diaria de estas arenas. La altura entre el piso y el apron feeder es muy reducida, lo que obstaculiza el montaje de la transportadora, se tendrá que levantar el apron feeder y luego reducir el chut de la tolva, Esto evidencia la importancia que tiene el diseño de ubicación y montaje de nuestras maquinarias y el valor que tiene la presente guía que le proporciona las experiencias no siempre gratas para que nuevos proyectos tengan presente todas las observaciones

mecánicas y técnicas al momento del diseño y construcción de plantas.

La presencia de arcillas al contacto con las orugas produce un fenómeno de compactación ocasionando que la cadena salga del piñón motriz, parando la maquinaria debido al rozamiento entre las paredes de la tolva y las bandejas del apron feeder que crecieron a causa del descarrilamiento. Los dos reductores permiten al apron feeder generar un torque muy elevado, esto puede ocasionar la ruptura de los pernos por cizañamiento de las medias lunas del piñón motriz.

Es recomendable la limpieza de las poleas del apron feeder con agua a presión luego de la jornada de trabajo o al cambio de guardia.

Oportunidades de mejora en Apron Feeder

La caliza cae hacia la chancadora mediante un chut y no una zaranda tipo greezly debido al espacio reducido que hay entre el apron feeder y la chancadora y la poca altura entre los mismos, la plancha del chut se ubica exactamente en la mitad de la polea motriz del apron feeder permitiendo que la piedra caliza quede aprisionada entre la plancha y el feeder, ocasionando ruptura de la caliza, desgaste prematuro de bandejas, desgaste de la plancha del chut y sobre esfuerzo de la maquinaria.

Figura 18.

Plancha destrozada por polea motriz.



Figura 19.

Rieles soporte a mitad de polea motriz de Apron Feeder.



Como solución se decide bajar la plancha del chut, 8" para que se ubique debajo de la polea motriz del feeder y así evitar estos contratiempos.

Figura 20.

Plancha bajo polea motriz de Apron Feeder.



La presencia de una zaranda tipo greezly es muy recomendable se ubique entre el apron feeder y la chancadora en el caso específico de calizas, debido a que su existencia permite que piedra menor a 4" pueda pasar directamente a la faja transportadora sin tener que ser chancada innecesariamente ocasionando fracturamiento de caliza que podríamos utilizar en el horno y elevando la eficiencia en su producción de materia prima.

Cabe indicar en esta parte que el tamaño de piedra utilizado en los hornos es el siguiente:

Piedra caliza de 2" a 4" alimenta al horno 01.

Piedra caliza de 1" a 2" alimenta al horno 02.

Tabla 11

Cuadro de distribución de caliza en chancado.

Equipo	Distribución	tamaño	porcentaje
Faja 03	Horno 01	2" a 4"	60%
Faja 07	Horno 02	1" a 2"	13%
Faja 08	Ripio	< 1"	26%
Faja 02	Retorno a chancadora	> 4"	1%

Fuente Propia

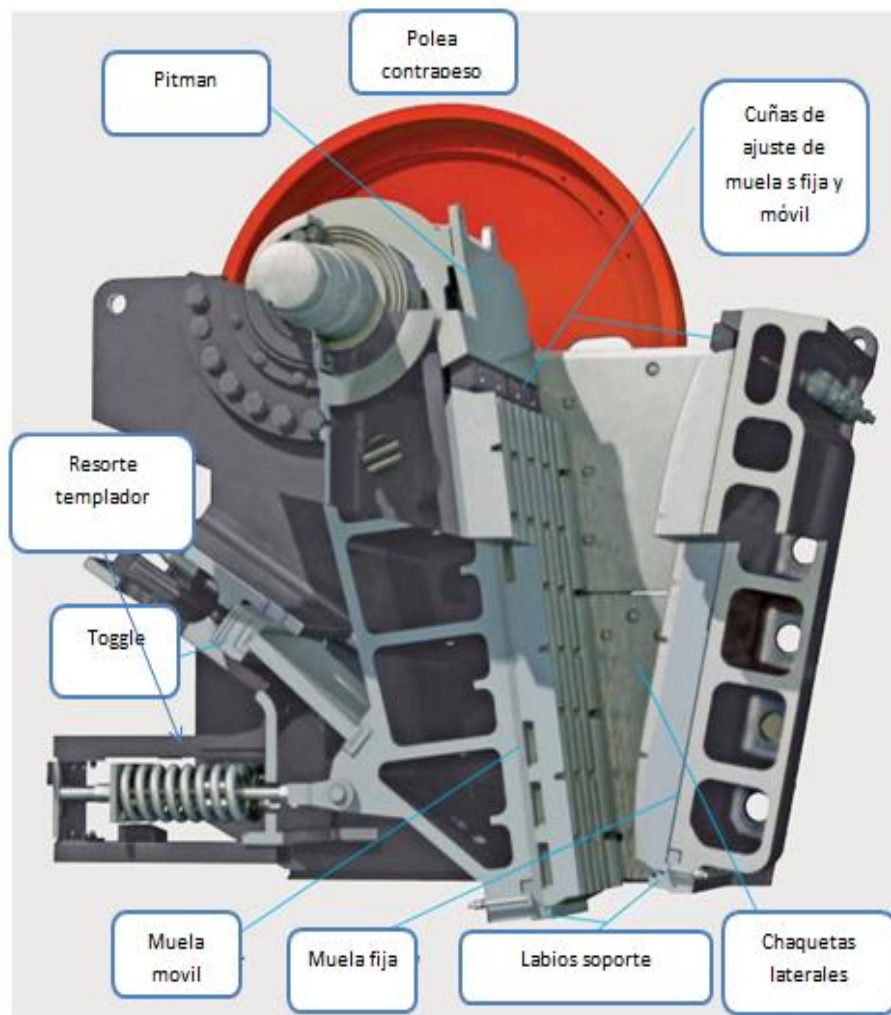
Chancadora de quijas

Trituradora que reduce el tamaño de la caliza de 15" aproximadamente a 4" según set ajustado, así como también vuelve a chancar la piedra de retorno de la faja transportadora 02.

El Sistema de chancado tritura la piedra mediante un accionamiento excéntrico con una quijada móvil que destroza la piedra por compresión, abrasión y molienda contra la quijada fija reduciéndola a un tamaño regulado por una abertura de salida, según lo requerido por el proceso.

Figura 21.

Partes de una Chancadora de mandíbulas Jaw Master 1206.



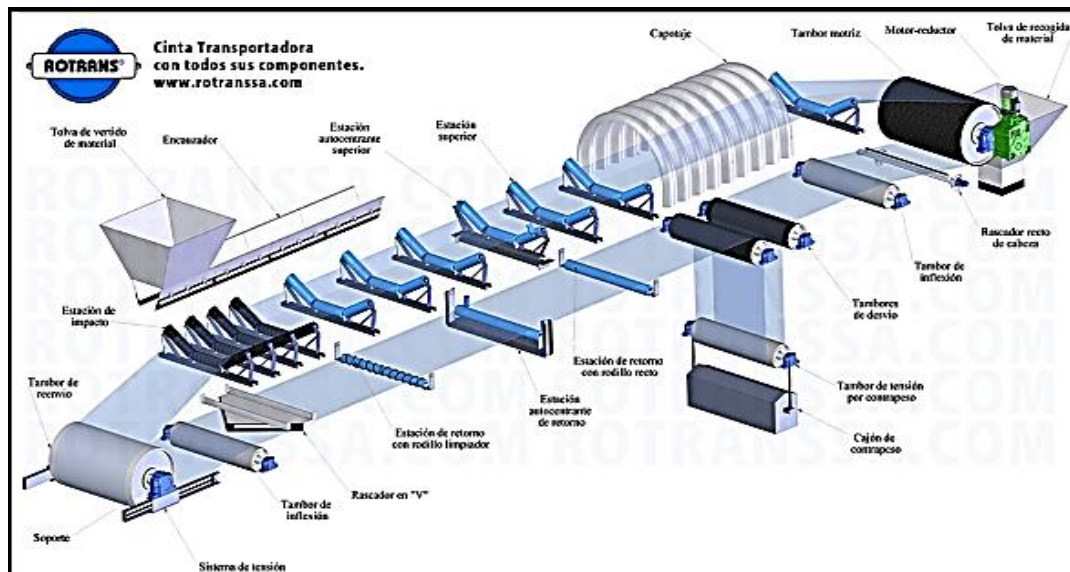
Fajas transportadoras

La función de la faja 01 es transportar la piedra caliza triturada hacia la zaranda de clasificación, una faja transportadora consta de las siguientes partes:

- Tolva de ingreso de material
- Lona de banda transportadora
- Mesa de impacto o Polines de impacto reciben la carga del chut.
- Polines de carga a 1.20 metros de distancia entre sí, polines de retorno cada 3 metros.
- Polea de cola o polea transmitida.
- Polea motriz o polea conductora
- Limpiadores de material antes de la polea conducida
- Raspadores de fajas después de la polea motriz
- Templadores deflectores y Templadores con contrapeso al medio o en cola
- Cobertores de faja
- Motor reductor
- Rodamientos de poleas.

Figura 22.

Partes de una faja transportadora.



Oportunidad de mejora en fajas transportadoras, cambio de faldones por bandejas

El área de chancado consta de un stock pile de gruesos y una parrilla de 12" x 12" x 15' x 15' de ancho y largo respectivamente, debajo de la parrilla existe una tolva de almacenamiento de 120 toneladas aproximadamente, un apron feeder o cinta metálica transportadora de 15' de largo transmiten esta carga hacia una chancadora de quijadas de 24" x 36" Jaw Master 1206.

La piedra caliza de 15" es reducida en la chancadora a 4", no hay que olvidar que la estructura de la caliza se presenta en forma lentejeada y no redonda o poligonal como se presenta mayormente en un mineral metálico, el producto de la chancadora es llevado mediante la faja transportadora 01 a una zaranda vibratoria 5' x 10' de tres pisos para su respectiva clasificación.

En la sección chancado de Caliza existen 05 fajas transportadoras, llevando la mayor carga la faja 01 de 0.610 X 18 metros (24" x 54 pies). Dimensionada para 126 toneladas/hora. De caliza de 0 a 100 mm. (4"). Anteriormente se tenía un sistema de contención mediante faldones tradicionales, los cuales están ubicados al interior de la banda disminuyendo un espacio de 10 cms. Por lado aproximadamente, seguido del problema de suspensión de carga debido a la distancia entre polines (1.20 metros).

En este tramo, el exceso de carga pandea la banda, permitiendo que la caliza, primero:

- Caída de material al piso generando suciedad.
- El ingreso de piedra caliza entre la banda y el faldón con el atoro subsecuente.
- El motor y reductor son forzados debido a este rozamiento, y por ultimo
- Desgaste y rotura de la banda transportadora por la tensión generada.

Para mejorar el sistema de contención de piedra caliza dentro de la banda en fajas transportadoras era necesario el cambio de bandejas tipo faldones en la parte exterior de la lona, las que permiten que:

- la banda se deslice sobre una plancha inclinada evitando el pandeo
- las paredes laterales de plancha de fierro permiten mayor cantidad de piedra caliza dentro de la faja
- no permite rozamiento al interior de la banda
- la suciedad disminuye bajo la faja transportadora y por ultimo
- el mantenimiento es más rápido y el cambio de lonas menos frecuente es decir el tiempo entre reparaciones es mayor y la duración de parada por mantenimiento es menor.

Este proyecto fue trasmitido luego a las demás áreas de producción como: línea de carga de caliza que transporta caliza hacia el winche eléctrico del horno 01 y la descarga del horno de cal a molienda y almacenamiento.

Como observaciones, debemos de tener presente que las fajas transportadoras de mineral en Plantas de tratamiento menores a 5,000 toneladas /día tienen una velocidad promedio de 1 m/ seg. Esto no permitirá un amago de incendio por rozamiento que podría ser ocasionado por fajas de mayor velocidad.

Las paredes lateras con doblez en la parte superior permiten colocar una plancha como tapa protectora en la parte superior, como veremos en la hoja adjunta de fabricación.

Este proyecto fue ejecutado y enviado al VII Congreso Nacional de Minería llevado a cabo en la ciudad de Trujillo los días 26 al 29 de agosto del 2008 donde fui invitado en calidad de expositor.

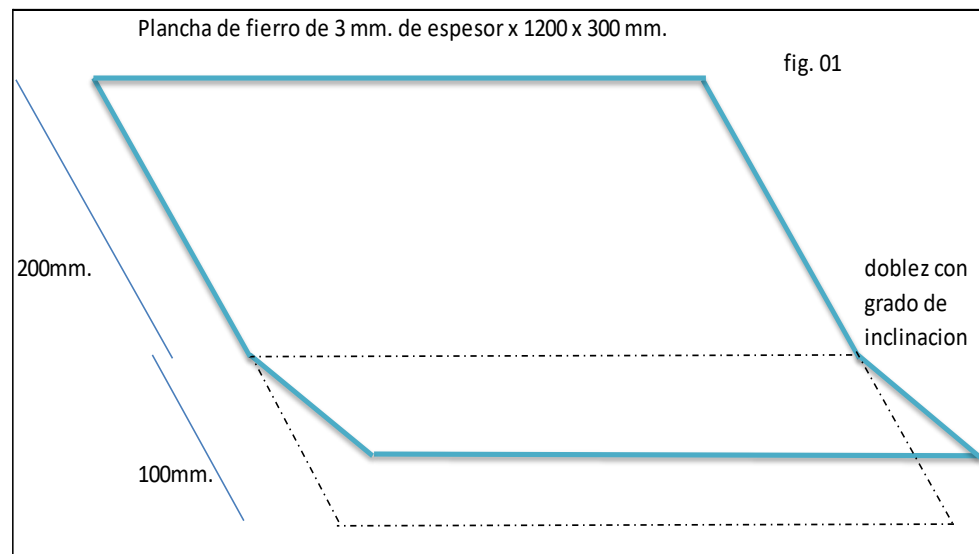
FABRICACION DE BANDEJAS

PRIMER PASO

Se cortan planchas de acero estructural (fierro negro) de 1200 mm. X 300 mm. X 3 mm. De espesor, suponiendo que la faja transportadora sea de 24 metros, se cortaran 40 planchas bandejas, una plancha comercial viene con las medidas de 1200 mm. X 2400 mm. Si se obtienen 8 bandejas x plancha necesitaríamos un total, de 5 planchas enteras.

Figura 23.

Fabricación de una bandeja para faja transportadora. Paso 01



SEGUNDO PASO

A las bandejas se les practica un desgaste con esmeril con disco de corte en las líneas punteadas es decir a 200 mm. Y luego se les da un doblé según la inclinación de los polines de la faja transportadora. (fig. 23)

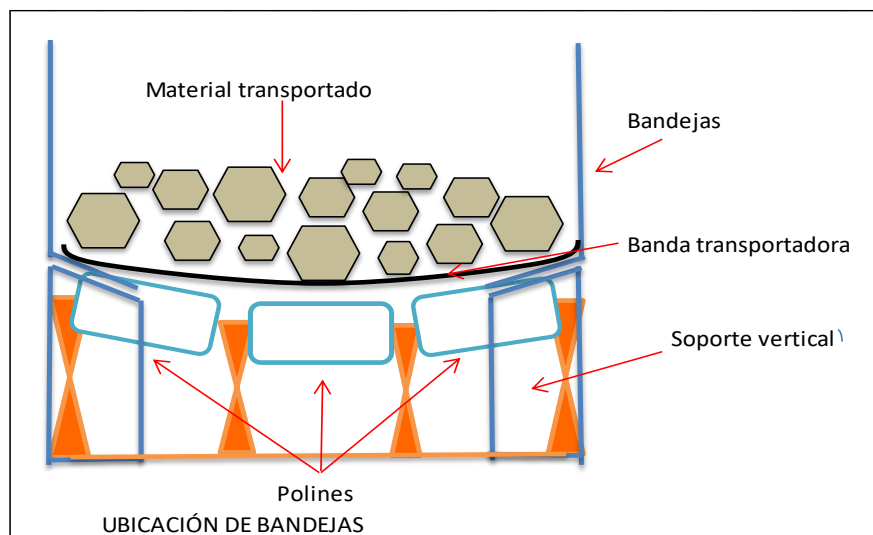
Se toma medida de la altura que tendrán las planchas soporte verticales siempre

teniendo como referencia el grado de inclinación de la banda transportadora, luego, asegurar el dobléz con soldadura.

Las planchas soporte verticales son de 6 mm. (1/4"). Estas pueden ser soldadas al pie del chasis de la faja transportadora o empernadas al mismo bastidor para su desmontaje en caso necesario, son cuatro soportes por un par de bandejas. (fig. 24).

Figura 24.

Fabricación de una bandeja para faja transportadora. Paso 02



TERCER PASO

A las bandejas se procede a realizar un dobléz en la parte superior vertical permitiendo un ángulo de 90 grados x 40 mm. (1 ½"). Este ángulo servirá para el apoyo de las respectivas tapas, para evitar la polución y protección contra la lluvia, Por último, se colocarán planchas entre bandeja y bandeja con el respectivo desbaste para que no roce el polín y cierre herméticamente la bandeja (fig. 25).

Figura 25.

Fabricación de una bandeja para faja transportadora. Paso 03

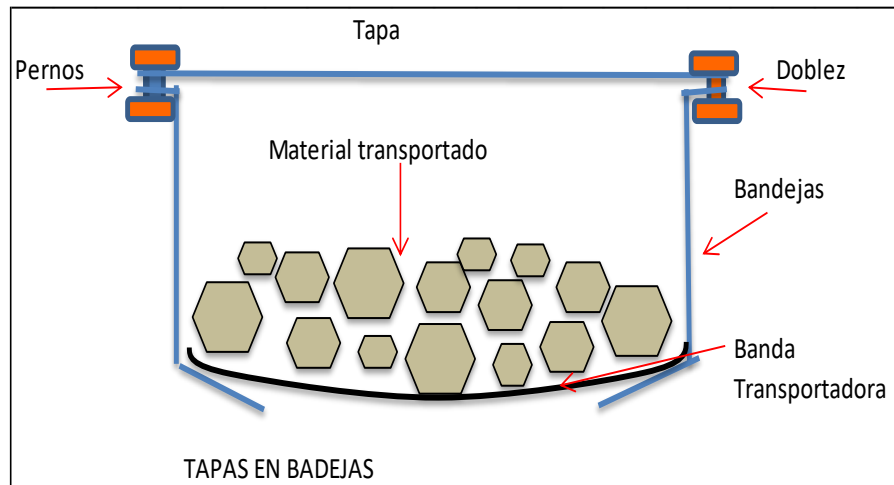


Figura 26.

Fajas transportadoras sin guarderas ni guidores.



Figura 27.

Bandejas de protección.



Figura 28.

Posición de la banda al interior de las bandejas.



ZARANDA VIBRATORIA DE CLASIFICACION 5' X 10'

Clasifica la piedra caliza mediante mallas de diferentes tamaños en tres pisos según el orden siguiente:

Primer piso, dos mallas 4" x 4" x 5' x 5'. Pasante piedra caliza menor a 4", sobrante mediante un chut a la faja transportadora 02 que transporta piedra caliza mayor a 4" hacia la chancadora para disminuir su tamaño.

Segundo piso, dos mallas 2" x 2" x 5' x 5'. Pasante piedra caliza menor de 4" a 2", El sobrante va a un chut a la faja transportadora 03 que lleva la caliza a una pila de Almacenamiento (stock pile) que servirá como materia prima para el horno vertical regenerativo 01.

Tercer piso malla 1" x 1" x 5' x 5'. Pasante piedra caliza menor a 1", mediante una Faja transportadora 07 a un almacenamiento de ripios, sobrante piedra caliza menor a 2" y mayor a 1" a una faja transportadora 08 que servirá como materia prima del horno vertical 02.

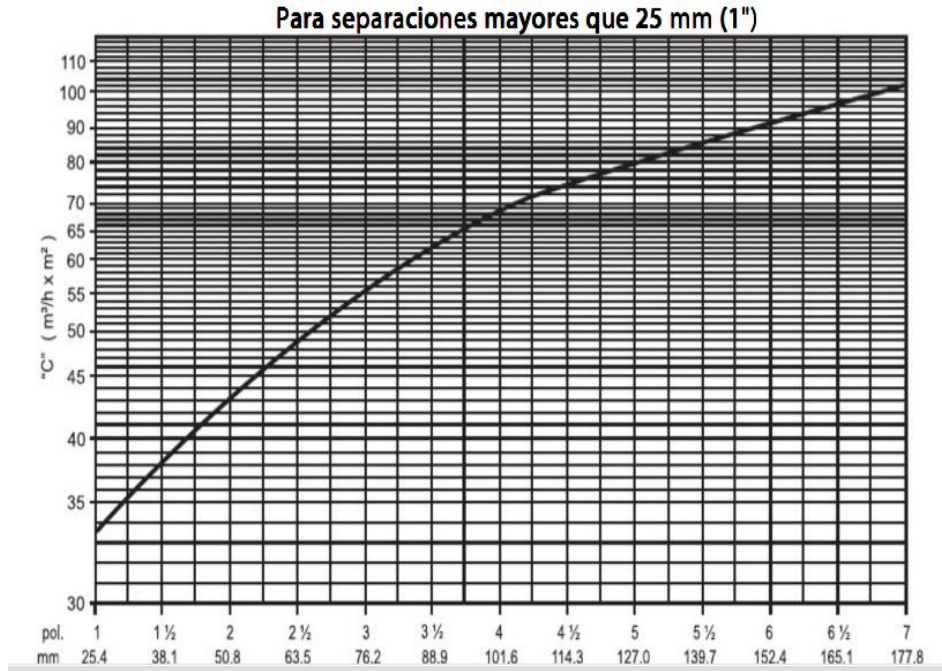
RECOMENDACIONES PARA LA ZARANDA VIBATORIA

Los cuatro resortes que sirven como soporte de la zaranda vibratoria deben estar verticalmente alineados porque una ligera desviación de estos puede provocar una mala distribución de la carga.

El espacio entre bastidor y malla es ocupado por un jebe de desgaste cuya principal función es la de fijar la malla al bastidor el cual por diseño debe tener una forma de parábola hacia abajo permitiendo una mayor sujeción al momento de realizar el ajuste de los pernos en las paredes laterales.

Figura 29.

Factor de Capacidad de la caliza en una zaranda.



(Referencia Metso)

Los principios de zarandeo en zarandas vibratorias son básicamente los mismos en cualquier aplicación, el material a ser clasificado al caer del chut sobre la superficie de zarandeo pierde su comportamiento vertical y comienza el desplazamiento por vibración como un fluido provocando dos fenómenos, primero el de estratificación o clasificación por tamaño aun sobre el área de zarandeo las partículas menores se posicionan en la parte baja debido a los espacios dejados por las partículas mayores las cuales se ubican en la parte superior de la cama.

Segundo, probabilidad de separación, cuando las partículas entran en contacto con la malla, estas son rechazadas si son mayores a la abertura de esta o pasan la malla si

son menores a la cocada ayudadas también por el peso de la camada. Es recomendable exista una cantidad apropiada de camada para propiciar una buena clasificación, si es mucha los finos se irán sin ser clasificados, si es poca las piedras saltarán sobre la malla sin lograr introducirse al siguiente piso de la zaranda. Se puede obtener una recuperación del 90 %, pero si buscamos la “clasificación óptima” al 100% tendríamos que utilizar una zaranda de por ejemplo 60 metros de largo y no de 8 metros que son las dimensiones comunes.

El tipo de material a clasificar influye mucho en el porcentaje de eficiencia de una zaranda, el caso específico son las calizas, cuya contextura es lentejeada o foliada lo que permite quedarse atorada en la cocada de la malla disminuyendo área de clasificación.

Otro factor que puede influir en la producción es cuando las cocadas coinciden con el bastidor disminuyendo área de clasificación, lo recomendable es utilizar zaranda con bastidores regulables para poder ser removidos y adaptarlos a las nuevas mallas.

Figura 30.

El área de zarandeo es dada por la fórmula:

$$A = \frac{T \times P}{C \times M \times K \times Q_n}$$

Donde

A = área necesaria de la superficie de la zaranda en m².

T= alimentación del piso de la zaranda en m³/h.

C= capacidad básica para separación deseada en m³/h por m² de área de zaranda.

M = factor dependiente del % de material retenido.

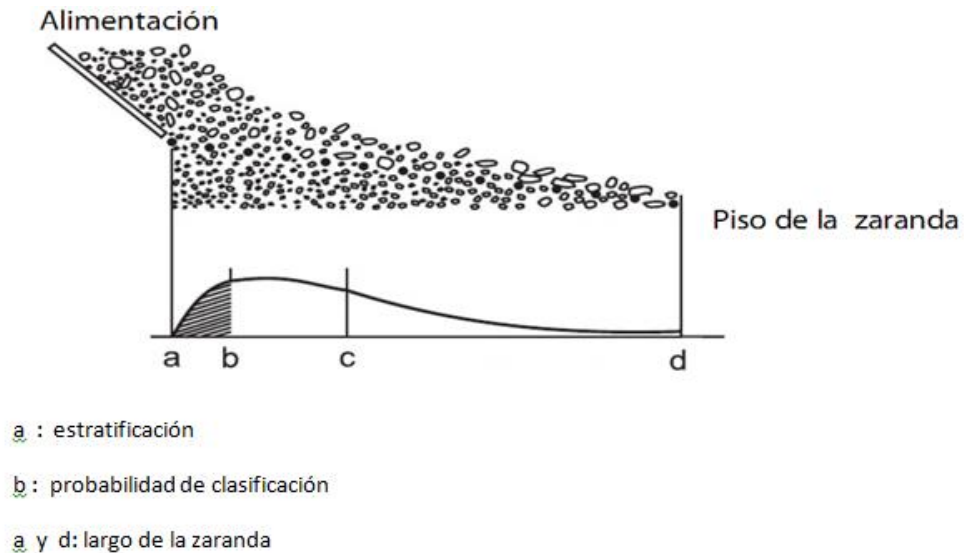
K = factor relativo al % del material inferior a la mitad del tamaño de separación.

Q_n= factor de corrección

P = factor entre 1 y 1.4 en minería es 1.

Figura 31.

Estratificación de una zaranda vibratoria



Referencias METSO

La vibración en las zarandas se lograba antiguamente con un mecanismo que accionaba a un eje excéntrico, pero, ahora se ha perfeccionado con un eje recto y planchas de acero tipo media lunas en los extremos que sirven de contrapeso que generan la excentricidad. Las velocidades más apropiadas son 600 hasta 1000 r.p.m. teniendo presente que:

Malla mayor, amplitud mayor – rpm menor

Malla menor, amplitud menor – rpm mayor.

Principales modos de falla de componentes de equipos de carga de caliza

ITEM	EQUIPO	COMPONENTE	PRINCIPAL MODO DE FALLA
1	HOOPER DE STOCK PILE 1 AL 4	HOOPER DE STOCK PILE	DETERIORO DE HOOPERS (TOLVAS)
2	HOOPER DE STOCK PILE 1 AL 4	COMPUERTAS DE ALIMENTACION	DETERIORO DE BARRAS REGULADORAS DE DESCARGA DE CALIZA
3	ALIMENTADOR VIBRATORIOS°1 AL 4	ARRANCADOR ELECTRICO	FALLA ELECTRICA
4	ALIMENTADOR VIBRATORIOS°1 AL 4	VARIADOR DE VELOCIDAD	FALLA ELECTRICA
5	ALIMENTADOR VIBRATORIOS°1 AL 4	BOBINA MAGNETICA	DETERIORO DE PLACAS DE BOBINA
6	ALIMENTADOR VIBRATORIOS°1 AL 4	BOBINA MAGNETICA	FALLA A TIERRA
7	ALIMENTADOR VIBRATORIOS°1 A L4	CHUTE INFERIOR (DESCARGA)	DETERIORO DE CHUTE
8	ALIMENTADOR VIBRATORIOS°1 AL 4	CHUTE INFERIOR (DESCARGA)	DETERIORO DE RESORTES
9	ALIMENTADOR VIBRATORIOS°1 AL 4	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE BOTONERAS DE ARRANQUE/PARADA - EMERGENCIA
10	FAJA TRANSPORTADORA # 4	SEPARADOR MAGNETICO	DETERIORO DE CABLE DE SUSPENSION
11	FAJA TRANSPORTADORA # 4	TABLERO ELECTRICO DE SEPARADOR MAGNETICO	FALLA ELECTRICA
12	FAJA TRANSPORTADORA # 4	ARRANCADOR ELECTRICO	FALLA ELECTRICA
13	FAJA TRANSPORTADORA # 4	MOTOR ELECTRICO	FALLA A TIERRA
14	FAJA TRANSPORTADORA # 4	MOTOR ELECTRICO	DETERIORO DE RODAMIENTOS
15	FAJA TRANSPORTADORA # 4	REDUCTOR	DETERIORO DE RODAMIENTOS

IMPLEMENTACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS TÉCNICOS DURANTE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAL EN HORNO VERTICALES REGENERATIVOS.

ITEM	EQUIPO	COMPONENTE	PRINCIPAL MODO DE FALLA
16	FAJA TRANSPORTADORA # 4	FAJA DE 24"	DETERIORO DE FAJA TRANSPORTADORA
17	FAJA TRANSPORTADORA # 4	FAJA DE 24"	DETERIORO DE GUARDERAS
18	FAJA TRANSPORTADORA # 4	FAJA DE 24"	*DETERIORO DE CABLE CONTRA PESO
19	FAJA TRANSPORTADORA # 4	RODILLOS (POLINES)	DETERIORO DE RODILLOS (POLINES)
20	FAJA TRANSPORTADORA # 4	LIMPIADORES O RASPADORES	DETERIORO DE LIMPIADORES
21	FAJA TRANSPORTADORA # 4	POLEAS	DETERIORO DE POLEAS
22	FAJA TRANSPORTADORA # 4	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE PULL CORDS,ZERO SPEED.
23	FAJA TRANSPORTADORA # 4	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE BOTONERAS DE ARRANQUE/PARADA - EMERGENCIA
24	ZARANDA VIBRATORIA 4' X 8	ARRANCADOR ELECTRICO	FALLA ELECTRICA
25	ZARANDA VIBRATORIA 4' X 8	MOTOR ELECTRICO	FALLA A TIERRA
26	ZARANDA VIBRATORIA 4' X 8	MOTOR ELECTRICO	DETERIORO DE RODAMIENTOS
27	ZARANDA VIBRATORIA 4' X 8	ZARANDA	DETERIORO DE MALLAS
28	ZARANDA VIBRATORIA 4' X 8	ZARANDA	DETERIORO DE RESORTES
29	ZARANDA VIBRATORIA 4' X 8	ZARANDA	DETERIORO DE RODAMIENTOS
30	ZARANDA VIBRATORIA 4' X 8	ZARANDA	DETERIORO DE CHUTE

IMPLEMENTACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS TÉCNICOS DURANTE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAL EN HORNOS VERTICALES REGENERATIVOS.

ITEM	EQUIPO	COMPONENTE	PRINCIPAL MODO DE FALLA
31	ZARANDA VIBRATORIA 4' X 8	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE BOTONERAS DE EMERGENCIA
32	FAJA TRANSPORTADORA # 5	ARRANCADOR ELECTRICO	FALLA ELECTRICA
33	FAJA TRANSPORTADORA # 5	MOTOR ELECTRICO	FALLA A TIERRA
34	FAJA TRANSPORTADORA # 5	MOTOR ELECTRICO	DETERIORO DE RODAMIENTOS
35	FAJA TRANSPORTADORA # 5	REDUCTOR	DETERIORO DE RODAMIENTOS
36	FAJA TRANSPORTADORA # 5	FAJA DE 24"	DETERIORO DE FAJA TRANSPORTADORA
37	FAJA TRANSPORTADORA # 5	FAJA DE 24"	DETERIORO DE GUARDERAS
38	FAJA TRANSPORTADORA # 5	RODILLOS (POLINES)	DETERIORO DE RODILLOS (POLINES)
39	FAJA TRANSPORTADORA # 5	LIMPIADORES O RASPADORES	DETERIORO DE LIMPIADORES
40	FAJA TRANSPORTADORA # 5	POLEAS	DETERIORO DE POLEAS
41	FAJA TRANSPORTADORA # 5	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE PULL CORDS,ZERO SPEED.
42	FAJA TRANSPORTADORA # 5	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE BOTONERAS DE EMERGENCIA
43	FAJA TRANSPORTADORA # 5	BALANZA	FALLA DE BALANZA
44	FAJA TRANSPORTADORA # 9	ARRANCADOR ELECTRICO	FALLA ELECTRICA
45	FAJA TRANSPORTADORA # 9	MOTOR ELECTRICO	FALLA A TIERRA

IMPLEMENTACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS TÉCNICOS DURANTE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAL EN HORNO VERTICALES REGENERATIVOS.

ITEM	EQUIPO	COMPONENTE	PRINCIPAL MODO DE FALLA
46	FAJA TRANSPORTADORA # 9	MOTOR ELECTRICO	DETERIORO DE RODAMIENTOS
47	FAJA TRANSPORTADORA # 9	REDUCTOR	DETERIORO DE RODAMIENTOS
48	FAJA TRANSPORTADORA # 9	FAJA DE 18"	DETERIORO DE FAJA TRANSPORTADORA
49	FAJA TRANSPORTADORA # 9	FAJA DE 18"	DETERIORO DE GUARDERAS
50	FAJA TRANSPORTADORA # 9	RODILLOS (POLINES)	DETERIORO DE RODILLOS (POLINES)
51	FAJA TRANSPORTADORA # 9	LIMPIADORES O RASPADORES	DETERIORO DE LIMPIADORES
52	FAJA TRANSPORTADORA # 9	POLEAS	DETERIORO DE POLEAS
53	FAJA TRANSPORTADORA # 9	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE PULL CORDS,ZERO SPEED.
54	FAJA TRANSPORTADORA # 9	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE BOTONERAS DE EMERGENCIA
55	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	ARRANCADOR ELECTRICO	FALLA ELECTRICA
56	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	MOTOR ELECTRICO	FALLA A TIERRA
57	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	MOTOR ELECTRICO	DETERIORO DE RODAMIENTOS
58	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	REDUCTOR	DETERIORO DE RODAMIENTOS
59	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	BALDE	DETERIORO DE SHELL -OREJAS DE IZAJE
60	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	BALDE	DETERIORO GUIAS DE RODADURA

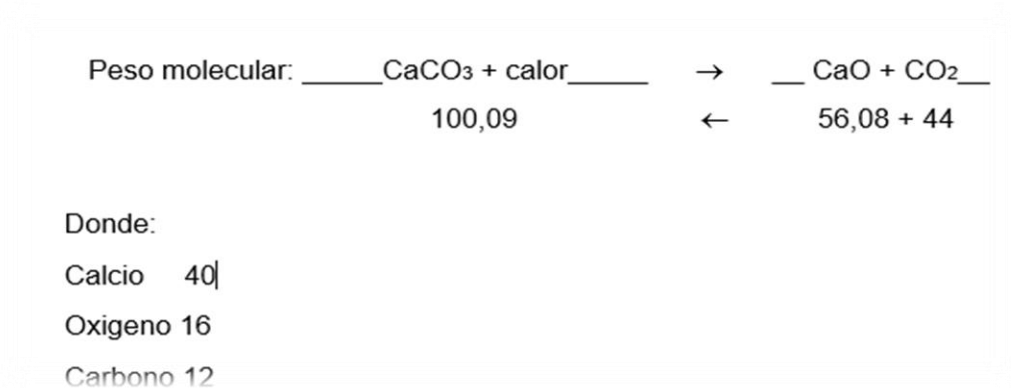
IMPLEMENTACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS TÉCNICOS DURANTE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CAL EN HORNOS VERTICALES REGENERATIVOS.

ITEM	EQUIPO	COMPONENTE	PRINCIPAL MODO DE FALLA
61	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	CABLE Y TAMBOR DE IZAJE	DETERIORO DE CABLE DE IZAJE Y POLEAS GUIA (ROLDANA)
62	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	CABLE Y TAMBOR DE IZAJE	DETERIORO DE SENSORES DEL SISTEMA DE CONTROL
63	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	CABLE Y TAMBOR DE IZAJE	DETERIORO DE SOPORTES -CHUMACERAS (TAMBOR)
64	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	CABLE Y TAMBOR DE IZAJE	DETERIORO DE SOPORTES -CHUMACERAS (ROLDANA)
65	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	FRENO DE MOTOREDUCTOR	DETERIORO DE ZAPATA Y POLEA DE FRENADO
66	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	FRENO DE MOTOREDUCTOR	FALLA DE UNIDAD DE ACCIONAMIENTO DE FRENADO
67	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	FRENO DE TAMBOR	DETERIORO DE ZAPATA Y POLEA DE FRENADO
68	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	FRENO DE TAMBOR	FALLA DE UNIDAD DE ACCIONAMIENTO DE FRENADO TAMBOR
69	ELEVADOR SKIP WINCHE ELECTRICO	COMPONENTES DE ACTIVACION-PROTECCION	DETERIORO DE BOTONERAS DE EMERGENCIA

CAPITULO QUINTO: PRODUCCION DE CAL ÓXIDO DE CALCIO EN HORNO VERTICALES REGENERATIVOS DE DOBLE CUBA

Reacciones y cálculos estequiométricos

La reacción de transformación del carbonato de calcio en óxido es la siguiente:



Estequiométricamente, de 100 gr. de carbonato de calcio puro se obtienen 56 gr. De óxido de calcio.

La relación en peso entre caliza - óxido de calcio será la siguiente:

$$\frac{\text{CaCO}_3}{\text{CaO}} = \frac{100,09}{56,08} = 1,785$$

Ejemplos de cálculo:

Suponiendo que la cal tenga un residuo de CO_2 del 2% y que el análisis de la caliza sea el siguiente:

$$\text{SiO}_2 = 1,00\%$$

$$\text{CaO} = 54,01\%$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,50\%$$

$$\text{MgO} = 0,75\%$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,50\%$$

$$\text{L.O.I.} = 43,24\%$$

$$x = 54,01 + 0,75 + 2 + \frac{2}{100} x$$

$$0,98 x = 56,76$$

$$x = \frac{56,76}{0,98} = 57,92$$

Solución y respuesta

Esto significa que de 100 gr. de caliza con un residuo de CO_2 del 2% se obtendrán 57.92 gr. de cal viva.

Tres son los factores esenciales en la cinética de la reacción de disgregación de los carbonatos:

- La piedra debe ser llevada a la temperatura de reacción.
- Dicha temperatura mínima (por experiencia es siempre notablemente más elevada) debe ser mantenida por un cierto plazo de tiempo (tiempo de reacción).
- El anhídrido carbónico gaseoso que se desarrolla debe ser removido.

El valor de la temperatura de reacción (disociación) de la calcita es 898 °C a 760 mm Hg y en atmósfera al 100% de CO₂, mientras que el calor absorbido es 759 Kcal/kg CaO aproximadamente.

Velocidad de la reacción de calcinación

En consideración del equilibrio químico, la velocidad de reacción aumenta:

- Con el aumentar de la temperatura
- Con el disminuir de las presiones
- Con el disminuir de la concentración de CO₂ en el ambiente de reacción

La velocidad de reacción es asimismo influenciada por los siguientes parámetros:

- Características físicas de la piedra
- Calidad y cantidad de las impurezas
- Tamaño de la caliza en reacción

Temperatura de reacción de calcinación

Si la temperatura mínima de disociación anteriormente citada fuera mantenida con precisión, la velocidad de reacción resultaría tan baja que con algunas calizas probablemente nunca se llegaría a completar la reacción.

Un aumento de la temperatura, aunque sea solamente de 10 °C más de la mínima, disminuye el tiempo de reacción en algunos casos hasta 1/5. El incremento de temperatura, aunque es de fundamental importancia para la duración de la reacción, no puede asumir valores demasiado elevados por causa del efecto negativo (extracocción) que el mismo provoca sobre la calidad de la cal.

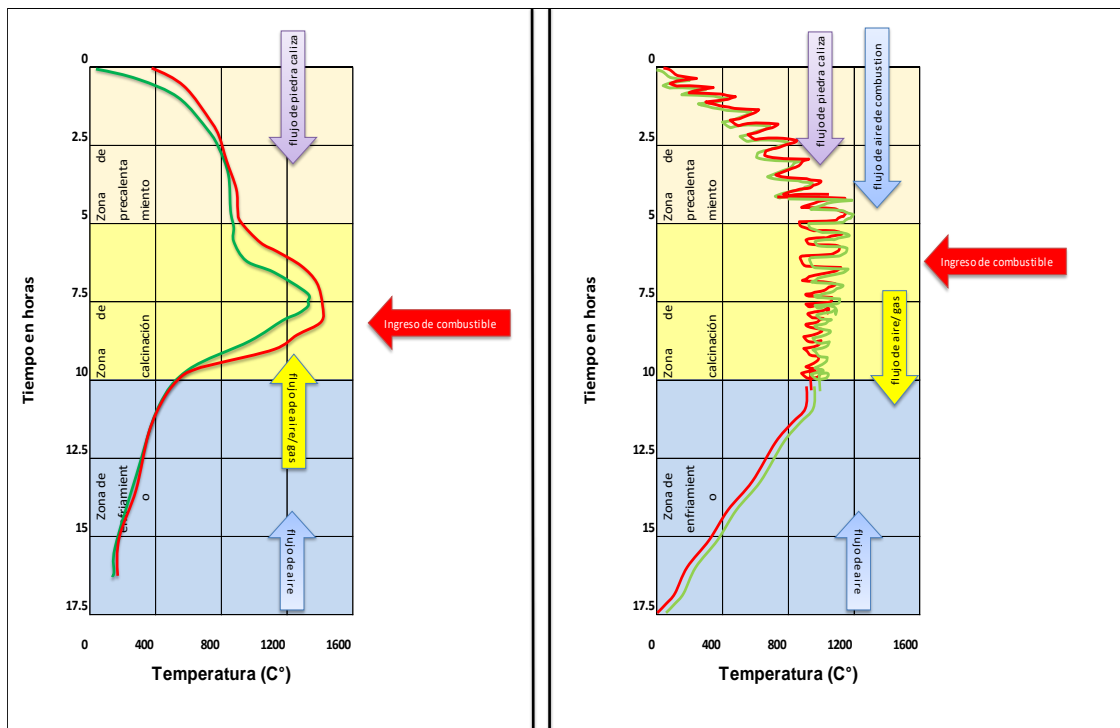
El fenómeno de la extracocción, que es debido a ampliarse los cristales de CaO después de que el CO₂ se ha liberado y a su sinterización, es exaltado por las elevadas temperaturas.

El mejor nivel térmico para tener la máxima eficiencia de calcinación sin

Comprometer la calidad de la cal se debe rebuscar experimentalmente; normalmente esta temperatura está comprendida entre 1,040 y 1,365 °C.

figura 33.

Distribución de temperaturas en hornos verticales de una y dos cubas



Horno vertical de una cuba

horno vertical de dos cubas

Se ve en cuadro la distribución de calor uniforme en el horno de doble cuba. El enfriamiento de la cal también es uniforme llegando a 80°C, ideal para la descarga.

Presión del ambiente de reacción

La reacción resultante de CO_2 en estado gaseoso, se ve favorecida debido a las bajas presiones. Normalmente esta condición se cumple, ya que el proceso es realizado a presiones poco superiores o inferiores a la presión de la atmosfera.

Figura 34.

Simulación de Presiones al interior del horno con diferente granulometría.



Horno con granulometría controlada para el ejemplo de 2" a 4". Y horno con caliza de diferente tamaño de 0" a 4". Las presiones dentro del horno aumentaran en el segundo caso. Fuente propia

Características necesarias de la piedra caliza

Es uno de los parámetros fundamentales de tener en consideración. Cada piedra tiene sus propias características peculiares, cuya capacidad exacta y condiciones óptimas de reacción pueden ser comprobadas solamente a través de nuevas pruebas prácticas de calcinación. En línea general podemos afirmar que las mayores velocidades de reacción se tienen cuando el estado de los trozos de caliza resulte naturalmente poroso o cuando la porosidad sea obtenida en fase de cocción por efecto de la presencia de sustancias volátiles.

Impurezas

El contenido de impurezas como sílice, alúmina, hierro y álcali, normalmente catalizan la reacción. Al contrario, su presencia baja la calidad del producto obtenido y favorece la sinterización de la cal. La presencia de sustancias que se convierten en volátiles a la temperatura de cocción y que pueden condensar antes de ser expulsadas en atmósfera, entre otros álcalis, cloruros, etc., es notablemente dañina, ya que lleva a bloques y aglomeraciones al interior del horno.

Tamaño de la caliza, Granulometría

La granulometría de la caliza es uno de los parámetros a través del cual viene definida la productividad nominal de un horno. Si la granulometría es más pequeña de lo previsto, para obtener la misma producción el horno deberá funcionar con presiones mayores.

Un excesivo aumento de presión puede provocar:

- excesiva demanda de energía eléctrica por parte de los compresores,
- prematuro desgaste de las empaquetaduras de las válvulas,
- dilataciones y distorsiones en el circuito al horno, con consiguientes posibles fugas de aire contra estructura y enrojecimiento de la misma,

Un incremento de granulometría provoca una disminución de las presiones en el horno y consiguientemente se puede aumentar la producción del horno además de la nominal. Pero, en este caso, serán posibles mayores desgastes de los refractarios, puesto que viene a ser aumentada desmesuradamente la carga térmica sobre la sección del horno.

Cuanto más grande es el diámetro de la piedra, más alta será la temperatura requerida por la calcinación. Este factor es de atribuir a la dificultad que el CO₂ encuentra para salirse desde los estratos más interiores de la piedra caliza. (TWIN-D® / CIM-REVERSY Cimprogetti).

Figura 35.

Tamaño de caliza de 2" a 4", materia prima para el horno 01.



Figura 36.

Tamaño de caliza de 1" a 2", materia prima para el horno 02.



Figura 37.

Tamaño de caliza de 0" a 1", materia prima para carreteras (ripio)



Descripción del proceso de calcinación

El horno vertical de doble cuba Cim-reversy de Cimprogetti utiliza el sistema regenerativo de recuperación del calor. En los tradicionales hornos aspirados, el aire de combustión es precalentado por la cal y el combustible es introducido en la parte baja de la zona de cocción.

Con un proceso de este tipo, el aire de combustión no puede ser llevado a temperatura elevada, ya que el contenido térmico de la cal es mucho más bajo de cuanto se necesitaría para precalentar el aire. Por el contrario, la cantidad de calor disponible en los humos de la zona de precalentamiento del horno es notablemente mayor del que podría ser absorbido por la caliza. De esta situación resulta que en los hornos tradicionales se consuman calorías para precalentar el aire de combustión, mientras que los humos dejan el horno con un elevado contenido térmico a disposición.

Esta situación conduce a consumos de calorías elevados por unidad de producto. La inmisión del combustible en la parte baja del horno (zona final de cocción) lleva inevitablemente a sobrecalentamientos con consiguiente Extra cocción de la cal y prematuro desgaste de los refractarios del horno.

El intercambio térmico entre los humos en salida del horno y el aire de combustión se realiza utilizando como acumulador de calor la caliza de la zona de precalentamiento del horno. En un primer tiempo la caliza absorbe el calor poseído de los humos y en un segundo tiempo lo cede al aire de combustión. Este proceso es posible gracias a la cooperación de 2 o más cubas correspondientemente conectadas, en las cuales vienen periódicamente invertidas tanto la combustión como la dirección de recorrido de los gases. (TWIN-D® / CIM-REVERSY Cimprogetti).

Figura 38.

Cuba 01 y 02 distribución de aires de combustion y flujo reversible.

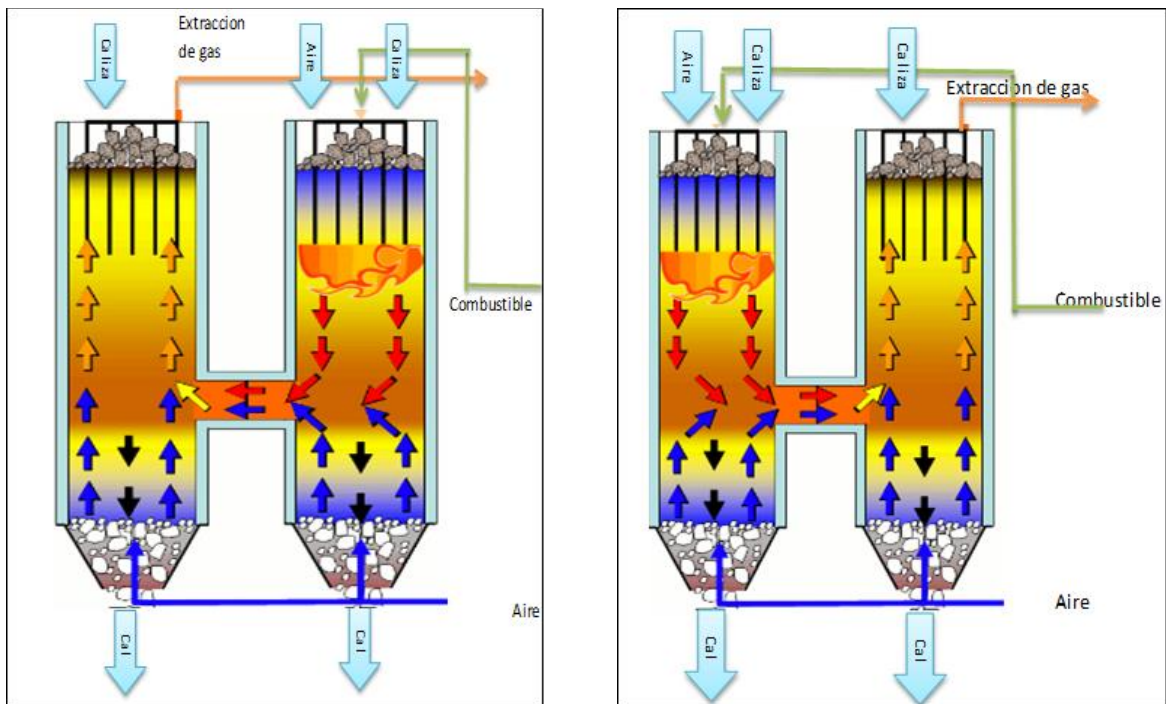


Figura 39.

Sistema de combustión en hornos regenerativos.



El funcionamiento en equicorriente de la cuba en combustión permite una cocción dulce de la caliza sin peligros de extracocción de la cal. Esto es posible porque la combustión, y por consiguiente las temperaturas más altas, se realizan en una zona del horno en la cual la masa en cocción es todavía caliza capaz de absorber velozmente las calorías desarrolladas por la combustión. Descendiendo de la zona de alimentación del combustible hacia la zona de enfriamiento, la caliza se transforma gradualmente en cal disminuyendo progresivamente la capacidad y la velocidad de absorber calorías; los gases de combustión descendiendo con la masa en cocción y cediendo continuamente calorías.

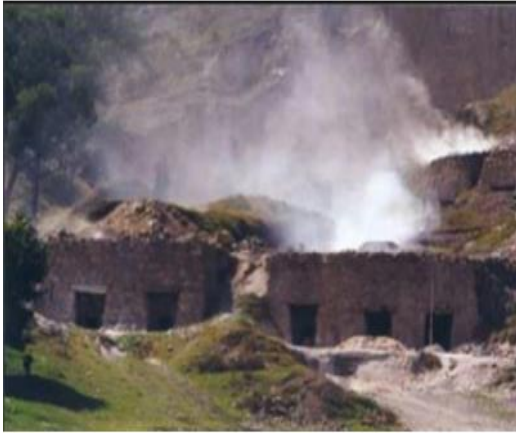
El sistema de inmisión y distribución del combustible sobre la sección del horno, realizada con lanzas inmersas en la masa de caliza, permite utilizar indiferentemente gas, combustóleo o polvo de carbón.

La recuperación de calor con el sistema regenerativo lleva a una emisión de los gases de escape del horno a temperatura relativamente baja, para poder así separar el polvo contenido en los humos con normales filtros de mangas.

TWIN-D® / CIM-REVERSY Cimprogetti.

Figura 40.

Horno artesanal para el quemado de cal Horno rotatorio para el quemado de cal



Horno de doble cuba regenerativo para el quemado de cal



Descripción funcional del horno

Existen dos cubas llenas de material y recíprocamente conectadas por un pasaje de los gases, llamado simplemente canal, el combustible son llevado únicamente a una cuba, mientras que la otra cuba es calentada con los humos de la primera. A

determinados intervalos se efectúa la inversión, de modo que la cuba 2 reciba el combustible y los humos, a través de los canales de conjunción, recorran la cuba 1 en contracorriente.

Ambas cubas vienen cargadas alternativamente por cargas de peso predeterminadas por medio de los dispositivos de carga y las válvulas hidráulicas de control, la carga de caliza se realiza durante los tiempos de inversión, cuando el horno está sin presión. Recibe la carga de caliza aquella cuba que acaba de concluir su ciclo de combustión. Si, la cuba 1 está en combustión, el aire comburente es alimentado en la parte superior de la cuba 1 a través de un conducto dejado abierto por la válvula B 1 la cual, cerrando la chimenea de esta cuba, obliga al aire a descender hacia abajo. Esto absorbe calor de la caliza anteriormente calentada por los humos y, cuando llegue a la parte terminal de las lanzas, encontrando el combustible, participando en la combustión. Los humos de combustión, después de haber recorrido toda la zona de calcinación de la cuba 1 en contracorriente, pasan en la cuba 2 recorriéndola totalmente en contracorriente hasta la cima y dejan el horno a través de la chimenea de la cuba 2 dejada abierta por la válvula B2 que, al mismo tiempo, impide la entrada de aire comburente en la cuba que no está en combustión. La cantidad de aire de combustión enviada a la parte superior de una de las dos cubas es producida por sopladores volumétricos en cantidad mayor a la cantidad estequiométrica de combustión. Normalmente el exceso es equivalente al 20-50% según la calidad del combustible y de la calidad de la piedra a calcinar.

El aire de enfriamiento de la cal es también producido por sopladores volumétricos y es introducido desde abajo al mismo tiempo en ambas cubas. La cantidad de este aire es regulada de modo que sea suficiente para absorber el calor sensible de la cal.

Normalmente esta cantidad es equivalente a 0,6-0,8 Nm³/kg de cal. La dimensión del enfriador y la cantidad mencionada de aire llevan a descargar la cal a una temperatura de aproximadamente 100 °C. Durante los periodos de inversión se realizan tanto la carga de la caliza como la descarga de la cal. El horno en esta fase tendrá que estar sin presión, por consiguiente, tanto el aire de enfriamiento cal como lo de combustión son descargados afuera a través de las válvulas de alivio. La cal cocida es descargada a través de dos carritos accionados por pistones hidráulicos, estos aseguran una extracción regular y por consiguiente un rebajamiento uniforme del nivel en las dos cubas.

Luego de cerrar las compuertas del horno para iniciar un nuevo ciclo, la cal es recogida en dos pequeñas tolvas herméticas y descargada en la tolva de abajo a través de dos compuertas que permitirán su descarga hacia una faja transportadora. Operando de este modo, a cada ciclo se carga un determinado peso de caliza y descargada rigurosamente la cantidad de cal correspondiente.

Para la producción de un horno de 200 t/d de cal, por ejemplo, presuponiendo de haber determinado, durante la puesta en marcha de la planta, el consumo específico de calor y el exceso de aire comburente.

Datos:

- producción : t/día 200
- consumo específico horno : Kcal/kg 870
- poder calorífico según reporte : Kcal/kg 9,800
- densidad del combustible kg/dm³ 0,9 a 100°C
- Exceso de aire : 40%
- Peso de la carga : kg 3,000
- relación piedra/cal : 1,73

- peso de cal/ciclo : kg 1.734
- tiempo de inversión : sec. (T.IN) 60
- aire estequiométricas : Nm³/kg aceite 10,

Para el ejercicio del horno es necesario medir:

- la temperatura
- las presiones
- la cantidad de la caliza
- la cantidad del combustible
- el nivel de la caliza en las cubas

Si la producción del horno no se cambia, igualmente los parámetros medidos deben quedar sin variación. Desviaciones de los valores normales indican un mal funcionamiento del horno.

Planta Hidráulica

Esta planta provee al accionamiento de todos los cilindros que desplazan las compuertas de las partes principales del horno, En particular, la planta descrita de la central hidráulica está preparada para el suministro del aceite a presión a las cajas de distribución con las válvulas a más vías, de los cilindros hidráulicos para el accionamiento de los elementos mecánicos del horno, de las válvulas de retención de los reguladores de capacidad de las válvulas de inversión.

Las bombas están dotadas de reguladores de accionamiento directo que reducen automáticamente la capacidad suministrada por la bomba con el aumento de la presión, de modo que permita mantener más o menos constante la potencia absorbida por la bomba misma. El regulador de presión está arreglado para la máxima presión necesaria para el funcionamiento de la planta hidráulica. Dicha presión deberá ser tan alta de permitir un perfecto funcionamiento de todos los

cilindros, pero no demasiado elevada para evitar pérdidas inútiles de energía o aún peor, posibles daños a la planta misma. Para la planta en mención, una presión de ejercicio de aproximadamente 90 a 100 bar es normalmente suficiente. Un filtro del aceite está colocado sobre la tubería de retorno del aceite en el tanque. Este es equipado con un revelador de obstrucción. La bomba de circulación pasa el aceite a un intercambiador de calor el cual utiliza, para el enfriamiento, el aire producido por un pequeño ventilador. El cambiador está equipado con un termostato que accionará el ventilador cuando la temperatura del aceite alcanza los 50 °C y o parará cuando esta será disminuida abajo de los 40 °C, manteniendo el aceite a una temperatura controlada. TWIN-D® / CIM-REVERSY Cimprogetti.

Figura 41.

Compuertas accionadas por pistones hidráulicos.



Filtros de mangas

La importancia de un filtro de mangas de alta temperatura es fundamental ya que permite el atrapamiento de partículas entre las mangas antes de salir el aire al ambiente, al momento de cerrar las cubas para realizar la apertura de válvulas

hidráulicas, se apertura el flujo de aire del horno al filtro de mangas, el humo ingresa por la parte inferior del filtro golpeando una plancha de acero que permite la disminución de turbulencia al interior del filtro, los mangas no dejan pasar partículas a la parte superior del filtro que es por donde sale el aire limpio hacia el ambiente, si se tiene una diferencia de presión en el filtro es señal de mangas rotas antes del mantenimiento programado que se realiza cada tres meses.

Los tipos de mangas son de alta temperatura, con tratamiento antiadherente, antiabrasivo y anticolmatante preferentemente de proveedores locales.

Figura 42.

Filtro de mangas horno 01



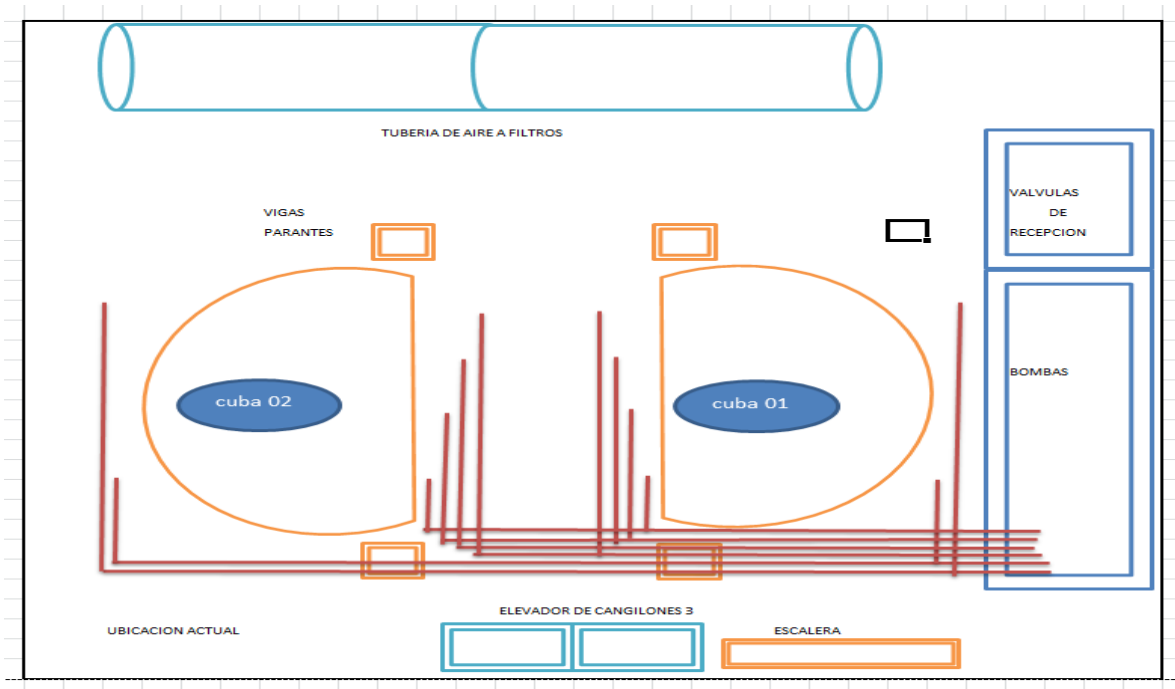
Oportunidades de mejora en hornos de calcinación.

Cambio de ubicación de banco de bombas dosificadoras de combustible

horno 02

Figura 43.

Distribución anterior de bombas dosificadoras de combustible.

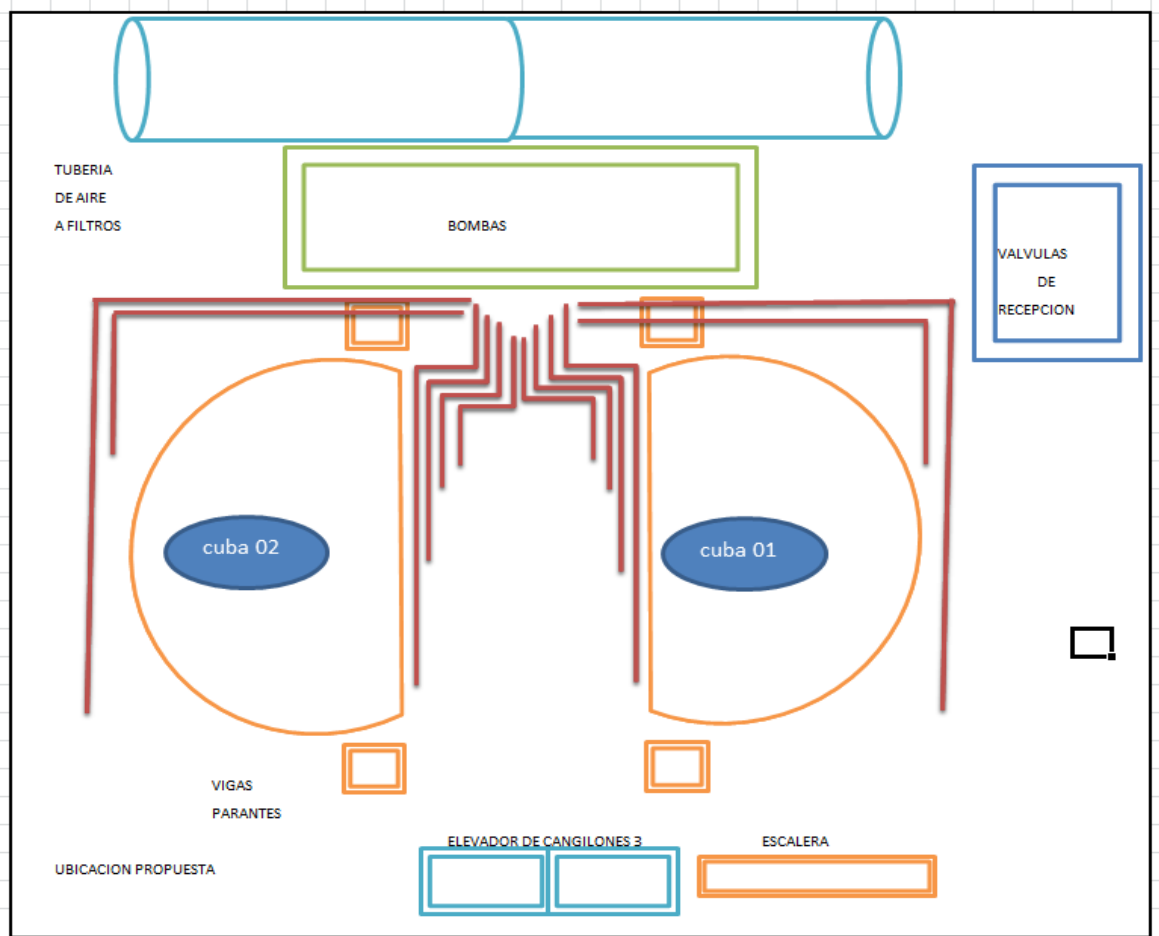


La distribución de bombas dosificadoras de combustible no se encontraba en forma geométrica uniforme permitiendo que la tubería de la cuba 2 acumule combustible en su interior ocasionando diferencias de caudal al momento de ingresar a los quemadores.

Luego del cambio en la distribución de combustible se pudo controlar en forma eficiente el ingreso de caudal seteado en cada uno de los quemadores.

Figura 44.

Distribución final de bombas dosificadoras de combustible



Modificación de 90 grados para tubing en quemadores del horno 01

El combustible R – 6, al momento de ingresar en los quemadores de 5 metros mediante un tubing de 10 mm. Produce inquemados y hollín llenando el tubing acortando el tamaño interno y provocando atoros, la solución más inmediata es introducir un cable de acero de 6 mm. Con punta de acero Accionados por un taladro, si el tubing no logra desatorarse se debe retirar el mismo, pero, La forma

estructural de lanza o quemador era de 90° rectos evitando el retiro del tubing, al acoplarse un bloque adicional tipo cajón antes del ingreso del quemador se produce una curva de 90° logrando retirar el tubing en forma satisfactoria.

Figura 45.

Sección de combustión en cubas de hornos de cal. Quemadores 90° rectos.



Figura 46.

Cajón o suple que permite mediante la curvatura de las lanzas que el tubing pueda salir libremente del soplador para su respectivo mantenimiento o cambio.



Datos relevantes

Cada 7 años se deben cambiar la totalidad de ladrillos refractarios. Cambios de refractarios en forma parcial se realizará cada cuatro años generalmente en la zona de calcinación.

Todas las semanas se deben limpiar el canal.

Existen tres etapas de filtrado en la zona de bombas de transferencia el primero de 850 micras, la segunda de 710 micras y la tercera de 600 micras.

La limpieza de tubing de los quemadores serán cada 8 horas o dos veces por turno, esta limpieza se realizará con cables de acero de 6 mm. Con 3 mm. De mecha de acero en la punta estos cables de acero serán de 5.70 metros y el cable corto es de 5 metros.

Mantener la temperatura del canal del horno en 900° y 950°C dependiendo de la producción y la granulometría de la piedra caliza.

Figura 47.

Distribución de combustible en lanzas del horno por cuba.

SKIP					
2	44-47%	1	54-58%	10	40-43%
4	58.62%	3	60-63%	11	48-52%
6	58.62%	5	60-63%	12	48-52%
8	44-47%	7	54-58%	9	40-43%

Números: ubicación de los quemadores

Porcentaje: velocidad aplicada en Hertz a los variadores de cada motor regulando caudal de combustible.

Parámetros de control en hornos de calcinación

los Parámetros de control clave son variables que impulsan el proceso. Es decir, una vez que los parámetros están bajo control, existe una posibilidad muy alta de que la planta esté protegida de daños como el consumo de lanzas o bloqueos y el producto sea de buena calidad.

Los parámetros de control clave para el horno

Temperatura de los gases residuales

Presión del canal

Temperatura del canal

Temperatura de la cal

Niveles de cubas

Los parámetros de control clave indicados anteriormente tendrán tendencias lentas a aumentar o disminuir y es la tarea principal del operador mantener estas temperaturas y presiones dentro de los límites de control superior e inferior, a fin de producir siempre un producto de buena calidad y detener el horno.

Condiciones y soluciones de categoría urgente según parámetros de control del horno

CONDICION	POSIBLES CAUSAS
La temperatura de los gases residuales muestra un comportamiento anormal	<p>Una fuga de aire típicamente en la parte superior del horno, puertas de cubierta de lanza, puerta de inspección, válvulas de cuba.</p> <p>Algunas lanzas son más cortas que otras. Verifique insertando un cable de acero flexible y comparando la longitud de inserción antes de que entre en contacto con la piedra.</p> <p>El calor residual de una cuba puede indicar la formación de un bloque.</p> <p>Alimentación de combustible en precalentamiento de la cuba debido a una falla de lectura de la válvula por los niveles de las cubas incorrectos.</p>
Temperaturas del canal muestran un comportamiento anormal	<p>Los termopares funcionan incorrectamente electrónicamente.</p> <p>Condiciones refractarias alrededor del termopar.</p> <p>Si las temperaturas tienden a ser diferentes entre sí (TC1 en comparación con TC2), entonces:</p> <p>La exposición de uno de los termopares en la cuba debido al desgaste del refractario.</p> <p>Distribución incorrecta de combustible como resultado de:</p> <ul style="list-style-type: none"> válvulas de combustible lanzas bloqueadas o parcialmente bloqueadas bloqueos dentro del horno <p>Distribución incorrecta de combustible</p> <p>Condiciones de la lanza en términos de longitud</p> <p>Longitud de la llama o longitud de la zona de combustión</p>

Temperatura de la cal muestra un comportamiento anormal	<p>Temperatura alta de cal por aire de enfriamiento de cal insuficiente</p> <p>Aire de enfriamiento no regulado equitativamente en ambas cubas.</p> <p>Cal sin quemar (cruda)</p> <p>Cal sobre quemada (bloques formados)</p> <p>Fugas en empaques de compuertas, Shell roto etc.</p>
Niveles de las cubas muestran un comportamiento anormal	<p>Si el nivel de una cuba no disminuye cuando se realiza la extracción de cal, puede deberse a lo siguiente:</p> <p>Signo de formación de bloque dentro de la cuba.</p> <p>Problema con los carritos de extracción de cal.</p> <p>Las sondas de nivel no funcionan correctamente ni mecánica ni eléctrica ni hidráulicamente.</p>
Bloques en el horno	<p>Esto ocurre típicamente porque el horno ha estado caliente. El horno se calienta por alguna de las siguientes razones:</p> <p>Distribución incorrecta de combustible dentro de la cuba</p> <p>Relación desigual en la distribución de combustible</p> <p>Fugas en válvulas de combustible</p> <p>Lanza parcial o totalmente bloqueada.</p> <p>Lanza consumida (corta y larga)</p> <p>Relación aire / combustible incorrecta</p> <p>Detección y control incorrectos del nivel del horno</p> <p>Distribución del tamaño de la materia prima</p> <p>Pureza de la materia prima (exceso de contaminantes)</p> <p>Aumento del valor de poder calorífico del combustible</p>

CONCLUSIONES

Se concluye que es muy necesaria la implementación de una guía práctica para solucionar problemas técnicos durante el proceso de producción de cal en hornos verticales regenerativos, cuya finalidad principal es la de mantener informados a los colaboradores para reaccionar en forma inmediata y segura en el momento en que el proceso lo requiera, también servirá como manual de consulta y comparación con “casos” que se presenten en diferentes Plantas de producción de cal ubicadas en todo el país.

Se determina que los parámetros enunciados durante el funcionamiento de Planta como, por ejemplo: cantidad de combustible por ciclo de calcinación, exceso de aire de combustión, caliza ingresada por ciclo, tiempo de residencia de la caliza al interior del horno, aires de enfriamiento de cal etc. deben ser estrictamente cumplidos para conseguir buenos resultados en calidad y cantidad de cal producida.

Los procesos relacionados con trituración, clasificación y granulometría de la piedra caliza están contemplados en la presente guía con un esquema sistematizado de cada máquina y su respectivo funcionamiento de manera que el colaborador puede realizar cambios sugeridos por el área de calcinación y planificar la producción de caliza determinando el tiempo de mantenimiento relacionado con el stock pile (pila de almacenamiento).

RECOMENDACIONES

“Sin cal no hay oro”. La importancia de la cal en la recuperación de minerales valiosos como el oro y cobre debe ser entendida por todos los que están relacionados con la minería, es por eso que el compromiso de difundir el papel que desempeña la cal en las diferentes áreas de producción, sea en el Tajo con el control de aguas acidas, los PADs donde se debe adicionar cal junto con el cianuro y el mineral a tratar (tarea no muy comprendida por Carguío y acarreo) quienes trabajan con tiempos cronometrados y no permiten el ingreso de los volquetes y cisternas de cal en la celda preparada; hasta el uso de cal en los tanques de precipitación y flotación donde se requiere un pH de 10.5 a 11.

El personal nuevo que ingresa a laborar en hornos de cal tiene que recibir como inducción mediante curso de preparación la presente guía.

Crear talleres básicos para nuestros vecinos con la finalidad de aumentar el conocimiento del proceso de fabricación de cal en forma industrial en las instalaciones de Planta para que al conocer cómo funcionan los equipos sepan también comprender las medidas ambientales que están auditadas por organizaciones gubernamentales.

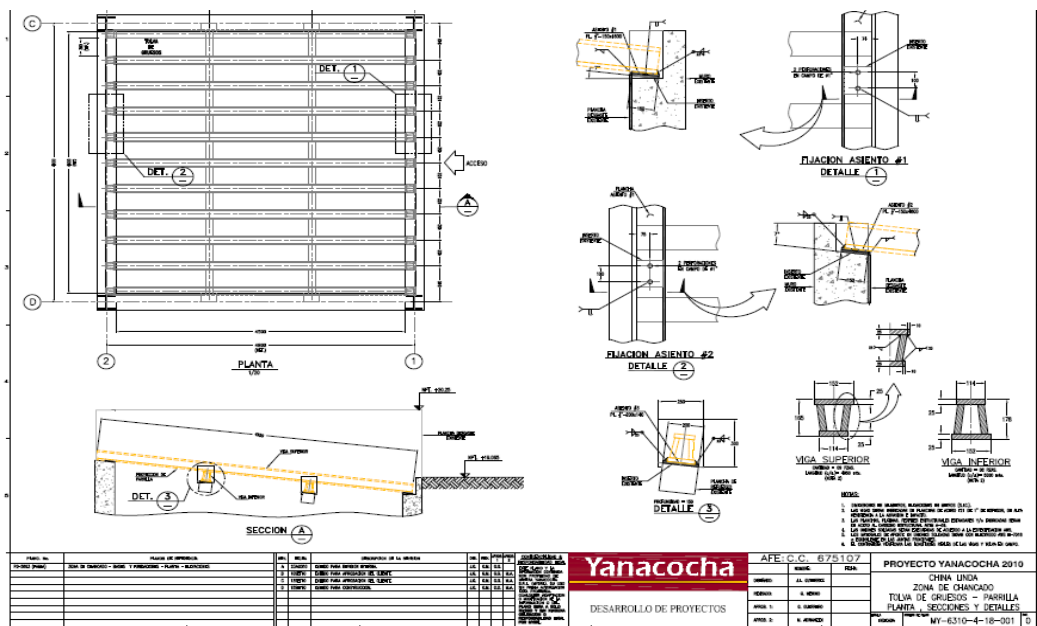
REFERENCIAS

- ASTM American National Standard. Producción y manipulación de cal.
- Arcadis Geotecnia, Minera Collahuasi Chile.
- BCR del Perú, Estudio Económico Scotian Bank. Erika manchego, 2016.
- Coloma, 2008 LA CAL ES UN REACTIVO. Chile.
- CHIMPROGETTI, 2008 Manual de Operación de Hornos. Italia.
- Diccionario Geológico del Perú, Universidad Nacional de Ingeniería.
- GENERAL DE MINERIA DEL MEM 99 – 2007 INGEMMET.
- Estudio de Recursos Minerales del Perú A. DIAZ.
- Google Maps, coordenadas de ubicación Planta China Linda.
- Lorenz y Gwosdz, 2,004 Especificaciones mínimas para cemento Portland.
- Patricio Cuadra, Codelco Central Chile, Recuperación de Cobre en flotación.
- Metso, Fabricante Especializado en zarandas vibratorias.
- Ministerio de Energía y Minas R.D 110 – 2009 China Linda.
- Sergio Vicuña, 27 marzo 2002 Lixiviación de oro en pilas. Yanacocha S.R.L.
- Universidad Católica de Chile, SOPROCAL, 1995.
- W. Lorenz y W. Gwosdz (2004). Manual para la evaluación geológica-técnica de recursos minerales de construcción.

Anexos

Anexo 1

Plano de la parrilla en tolva de gruesos del Área de chancado



Anexo 2

Marco legal que fomenta la investigación de recursos minerales

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, en ejercicio de sus funciones y competencias en materia geológica y minera, se sujeta a la normativa especial pertinente comprendida por el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM, y normas reglamentarias, complementarias y conexas, la Ley N° 26615, Ley del Catastro Minero Nacional, y su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por Decreto Supremo N° 035-2007-EM.

En materia geológica, de conformidad con el Decreto Supremo N° 035-2007-EM, el INGEMMET realiza y fomenta la investigación de los recursos minerales, energéticos e hidrogeológicos del Perú, administrando, interpretando y difundiendo la información geocientífica nacional; siendo el depositario oficial de toda la información geológica minera del país. En dicho contexto, la base de datos geocientífica del Perú a cargo del INGEMMET, se constituye como una herramienta básica para el fomento de la inversión y del desarrollo nacional, proveyendo, asimismo, información geocientífica necesaria para el cuidado del medio ambiente y el ordenamiento territorial. En materia minera, el INGEMMET conduce el Procedimiento Ordinario Minero conforme a lo dispuesto por la Ley General de Minería, normas complementarias y conexas, incluyendo la recepción de petitorios mineros, el otorgamiento de concesiones mineras y su extinción según las causales fijadas por la ley, ordenando y sistematizando la información georeferenciada mediante el Catastro Minero Nacional, así como la administración y distribución del Derecho de Vigencia y Penalidad. La Dirección de Concesiones Mineras está encargada de tramitar y resolver los petitorios mineros conducentes a la obtención del título de concesión minera y otros procedimientos especiales. Depende jerárquicamente de la Presidencia. La Dirección de Concesiones Mineras, tiene las siguientes funciones:

Funciones específicas

1. Planificar, organizar, dirigir, evaluar y supervisar las actividades de su competencia;
2. Evaluar y tramitar los petitorios mineros, oposiciones, acumulaciones, fraccionamiento y división de concesiones mineras, constitución de sociedad legal, unidades económicas administrativas y cambio de sustancias;
3. Tramitar y en su caso resolver las denuncias por internamiento en derecho ajeno, sustitución y reducción de áreas;
4. Declarar por excepción, la cancelación de los petitorios que se formulen sobre áreas ocupadas por denuncios, petitorios y concesiones mineras prioritarias;
5. Emitir pronunciamiento sobre la renuncia total o parcial del área de concesión;
6. Proponer al Presidente las declaraciones de caducidad y áreas de libre denunciabilidad;
7. Expedir constancias de derechos en trámite;
8. Emitir dictámenes técnicos y legales en los asuntos de su competencia;
9. Opinar por la exclusión de las áreas extinguidas de libre denunciabilidad del Sistema de Cuadrículas;
10. Conducir el acto de remate derivado de la simultaneidad de petitorios así como declarar el abandono o inexistencia del área simultánea, según sea el caso;

- 11.Registrar en el sistema correspondiente la información que se genere;
- 12.Informar a la Dirección General de Minería sobre las infracciones que cometan los Peritos Mineros nominados en el ejercicio de su función;
- 13.Absolver las consultas legales que formulen los usuarios mineros, respecto a los procedimientos a su cargo;
- 14.Proponer las directivas que permitan mejorar la gestión de la Dirección de Concesiones Mineras;
- 15.Asesorar a la Alta Dirección y otros órganos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico en aspectos de su competencia, cuando le sean consultados; y,
- 16.Otras que le sean asignadas en el ámbito de su competencia.

(INGEMMET, 2016)